

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

4.1 ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ

4.1.1 บริเวณ ดั้งตะกอน การประปาภูมิภาค จ.ฉะเชิงเทรา

ตัวอย่างดินเหนียวอ่อนที่เก็บได้จากหลุมเจาะที่ BH-1 ถูกนำมาทดสอบหาสมบัติพื้นฐาน และจำแนกดินตามระบบ Unified ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 เพื่อเป็นการสะดวกในการวิเคราะห์ จึงได้ทำการแบ่งชั้นดินออกเป็นชั้น ๆ โดยพิจารณาจากชนิดของดิน กำลังรับแรงเฉือน ความหนาแน่น ปริมาณความชื้นตามธรรมชาติ และผลการทดสอบ CPT ในสนาม ดังแสดงไว้ใน Boring log รูปที่ 4.1

ดินเหนียวอ่อนจากหลุมเจาะที่ BH-1 ส่วนใหญ่เป็นดินเหนียวที่มีพลาสติกชิตีสูง ($PI = 55-83\%$) ความหนาแน่นเปียกโดยเฉลี่ยในช่วง 8.00 เมตร แรกเท่ากับ 1.44 ตันต่อม³ จากนั้นความหนาแน่นจะค่อย ๆ สูงขึ้นตามความลึก จนถึง 1.59 ตันต่อม³ ที่ระดับความลึก 15.00 เมตร จากผิวดิน ปริมาณความชื้นตามธรรมชาติมีค่าอยู่ระหว่าง 71-123% เมื่อพิจารณาถึงเนื้อดินเหนียวอ่อน จะพบว่าค่อนข้างจะเป็นเนื้อเคี้ยวกันตลอด

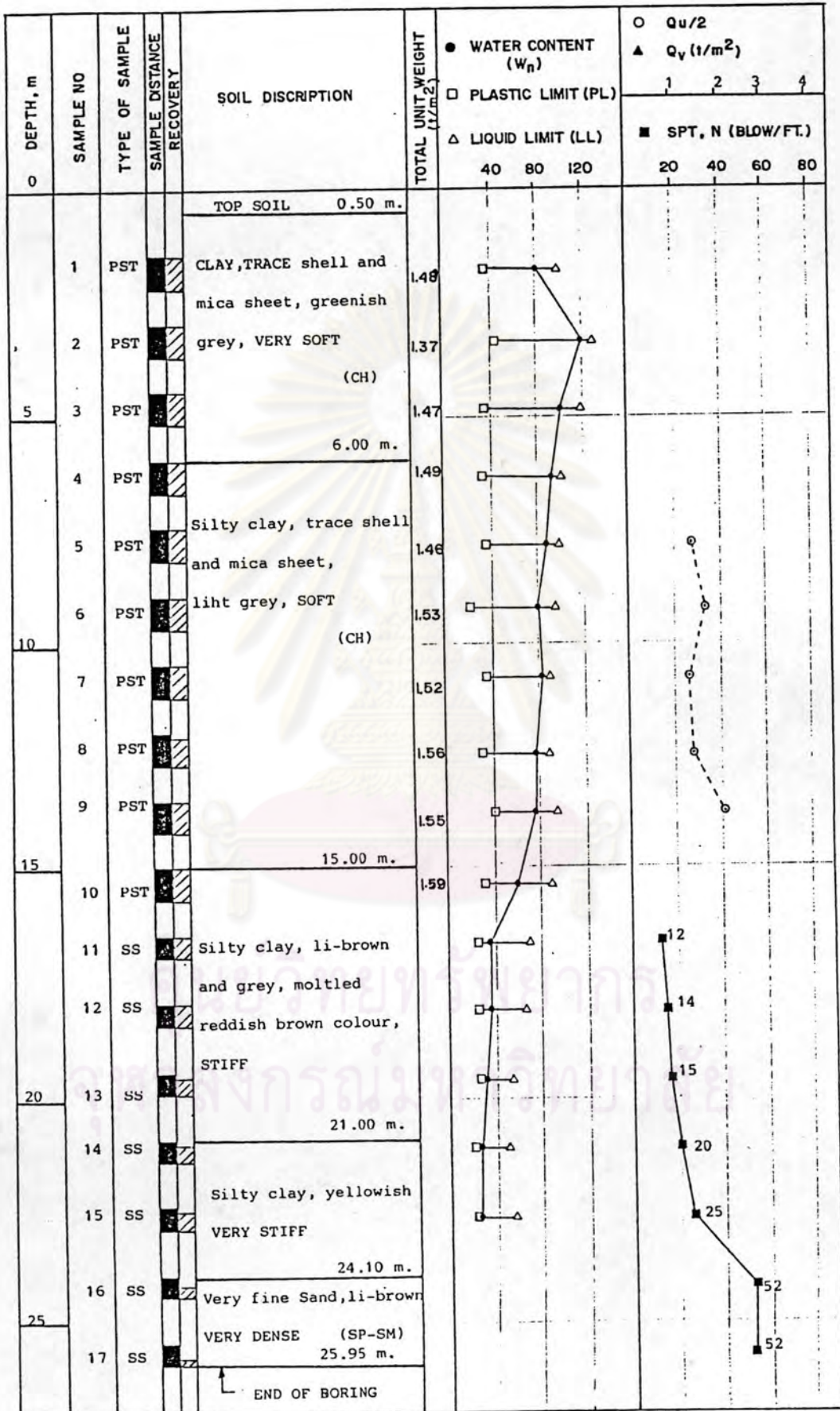
จากผลทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ ของดินเหนียวอ่อน พบว่าค่า CR มีค่าสูงซึ่งมีค่าอยู่ช่วงระหว่าง 0.327-0.580 สำหรับค่า RR จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.031-0.055 ในชั้นของดินเหนียวอ่อน อัตราส่วน CR/RR จะมีค่าอยู่ระหว่าง 6-18 เมื่อพิจารณาถึงค่า OCR พบว่าในสภาพตามธรรมชาติ บริเวณใกล้ ๆ ผิวดินมีค่า OCR=3 และลดลงตามความลึก จนกระทั่งมีสภาพเป็น Normally Consolidated Clay ส่วนค่าสัมประสิทธิ์อัดตัวได้เชิงปริมาตร (m_v) หาได้โดยใช้หลักการคำนวณดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งพิจารณาค่า m_v ในช่วงหน่วยแรงระหว่างหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้งตามธรรมชาติ (σ_{vo}) ถึงหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้งสุดท้าย (σ_{vf}) ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของดิน ในสภาพระบายน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์อัดตัวได้เชิงปริมาตร ที่ได้จากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ ได้ถูกรวบรวม และแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

สำหรับกำลังรับแรงเฉือน และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น แบบไม่ระบายน้ำที่ระดับ

DESCRIPTION		BASIC PROPERTIES					CONSOLIDATION TEST RESULTS								UU TEST RESULTS		
SAMPLE NO.	DEPTH (m)	WATER CONTENT (%)		ATTERBERG LIMIT (%)			TOTAL UNIT WEIGHT (t/m ³)	UNIFIED SOIL CLASSIFICATION	EFFECTIVE STRESS q_v (t/m ²)	MAXIMUM PAST PRESSURE σ_{vm} (t/m ²)	OVER CONSOLIDATION RATIO, OCR	COMPRESSION RATIO, (CR)	RECOMPRESSION RATIO, (RR)	COEFFICIENT OF VOLUME CHANGE (m _v), m ² /t	DRAINED YOUNG'S MODULUS (E') (t/m ²) $\sigma'_s = 0.30$	UNDRAINED SHEAR STRENGTH (t/m ²)	UNDRAINED YOUNG'S MODULUS (E _u) (t/m ²)
		FROM	TO	LL.	PL.	PI.											
PST-1	1.50	2.20	84	100	39	61	1.48	CH	2.36	6.25	2.64	0.324	0.050	0.0172	43		
PST-2	3.00	3.70	123	129	47	82	1.37	CH	2.96	6.50	2.19	0.584	0.034	0.0169	44		
PST-3	4.50	5.20	107	119	36	83	1.41	CH	3.58	6.95	1.94	0.615	0.043	0.0142	52		
PST-4	6.00	6.70	94	103	34	69	1.49	CH	4.31	7.00	1.62	0.397	0.031	0.0173	43		
PST-5	7.50	8.20	89	103	38	65	1.46	CH	5.00	8.25	1.65	0.580	0.049	0.0167	44	1.35	216
PST-6	9.00	9.70	83	94	33	61	1.53	CH	5.80	8.40	1.44	0.564	0.049	0.0126	59	1.62	305
PST-7	10.50	11.20	84	93	36	57	1.52	CH	6.58	8.60	1.30	0.401	0.055	0.008	93	1.33	439
PST-8	12.00	12.70	78	89	32	57	1.56	CH	7.42	8.85	1.19	0.365	0.051	0.0093	80	1.35	370
PST-9	13.50	14.20	74	94	39	55	1.55	CH	8.24	9.50	1.15	0.482	0.639	0.0105	71	2.00	321
PST-10	15.00	15.70	62	90	32	58	1.59	CH	9.14	9.80	1.07	0.342	0.037	0.0070	106	1.26	151
SS-11	16.50	16.95	33	73	27	46		CH									
SS-12	18.00	18.45	33	67	27	40		CH									
SS-13	19.50	19.95	26	56	25	31		CH									
SS-14	21.00	21.45	25	50	23	27		CH									
SS-15	22.50	22.95	24	55	22	33		CH									
SS-16	24.00	24.45	24					SM									
SS-17	25.50	25.95	21					SP-SM									
PROJECT : สังเกตตะกอน																	
LOCATION : การประปา ฉะเชิงเทรา																	
BORING NO: BH - I																	

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดลองของดินเหนียวอ่อนจากหลุมเจาะสำรวจ BH-1 การประปาภูมิภาค จ.ฉะเชิงเทรา

รูปที่ 4.1 Boring log ของดินจากหลุมเจาะ BH-1 การประปาภูมิภาค จ.ฉะเชิงเทรา



ของหน่วยแรงเฉือน เท่ากับ 80% ของกำลังรับแรงเฉือน ที่ได้จากการทดลองหากำลังรับแรงกดของดินที่ไม่ถูกอุ้มน้ำในสภาพไม่ระบายน้ำ (UU Test) ใกล้เคียงไว้ในตารางที่ 4.1 และในรูปที่ 4.1 พบว่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอเนกอนที่ไ้จากการทดลอง UU Test ของตัวอย่างดินเหนียวอ่อนตั้งแต่ระดับปลายเสาเข็มลงมา มีค่าอยู่ระหว่าง 1.35-2.26 ตันต่อม.² ส่วนค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของดินแบบอเนกอน (E_u) ที่ระดับหน่วยแรงเฉือนเท่ากับ 80% ของกำลังรับแรงเฉือนแบบอเนกอน พบว่าค่า E_u ใกล้เคียงตั้งแต่ระดับความลึกปลายเสาเข็มลงไปของชั้นดินเหนียวอ่อน ค่าเท่ากับ 285 ตันต่อม.² การพิจารณาว่าค่า E_u ที่ระดับหน่วยแรงเฉือนเท่ากับ 80% ของกำลังรับแรงเฉือนแบบอเนกอน มาใช้ในการวิเคราะห์ เนื่องจากในการวิเคราะห์การกระจายหน่วยแรงของฐานรากเสาเข็ม พบว่าหน่วยแรงเค้นที่เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงประมาณ 80% ของกำลังรับแรงเฉือน แบบอเนกอน ดังนั้นการใช้ค่า E_u จึงใช้ค่าที่ระดับของหน่วยแรงเฉือนเท่ากับ 80% ของกำลังรับแรงเฉือนแบบอเนกอน เพื่อให้ค่า E_u สอดคล้องกับระดับของหน่วยแรงที่เกิดขึ้น

จากผลการวัดความค้ำน้ำในโพรงดิน ในบริเวณอาคารผลิตน้ำประปา ดังแสดงในตารางที่ 3.3 พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงความค้ำน้ำในโพรงดิน อันเป็นผลเนื่องมาจากการสูบน้ำบาดาล ซึ่งแสดงว่าความค้ำน้ำในโพรงดิน ในบริเวณดังกล่าว อยู่ในสภาพความค้ำน้ำสถิต

4.1.2 บริเวณ อาคารโรงงานผลิตยา พระประแดง

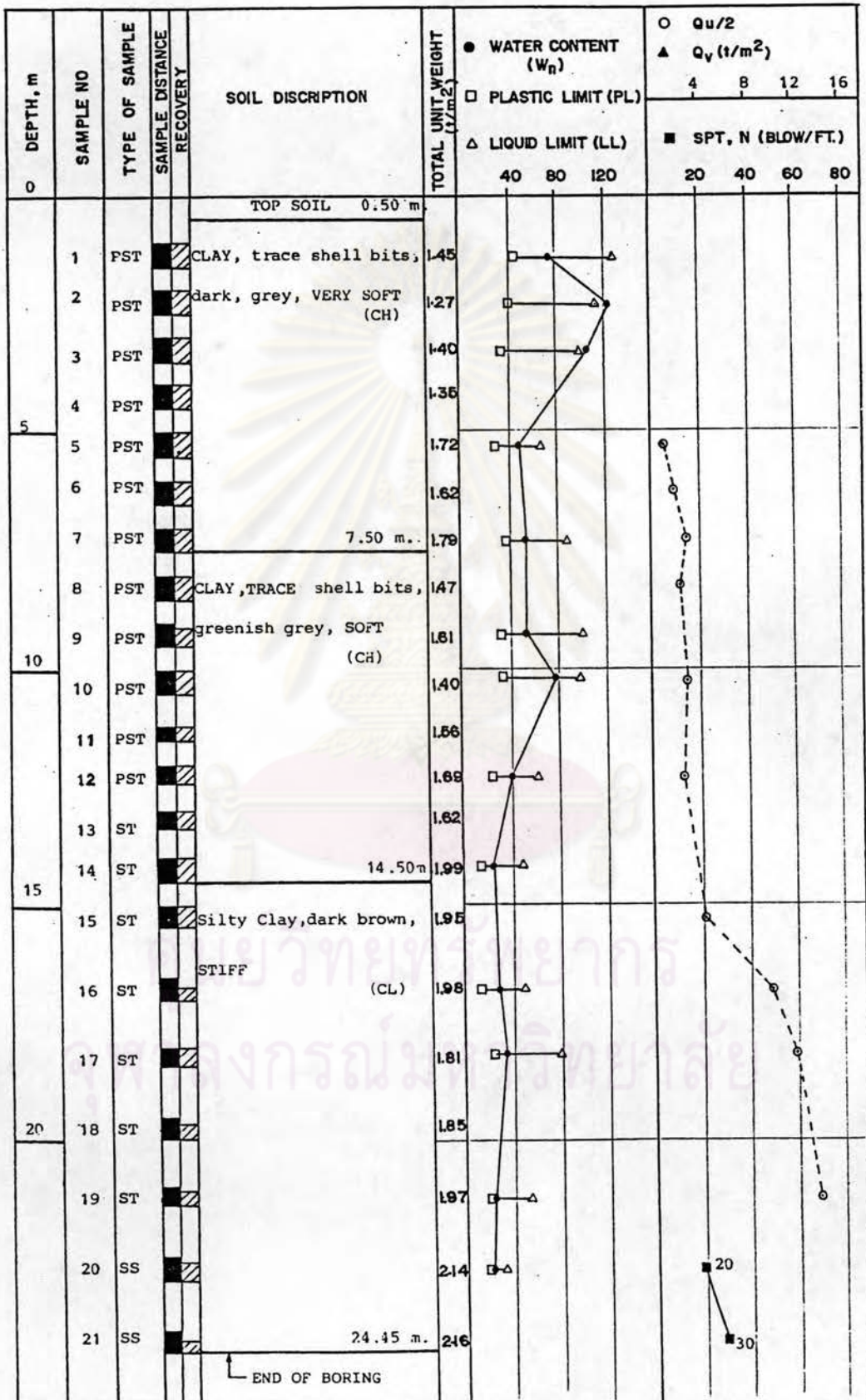
ตัวอย่างของดินเหนียวอ่อน และดินเหนียวแข็งที่ได้จากการเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างดิน ในหลุมเจาะที่ BH-1 ได้ถูกนำมาหา สมบัติพื้นฐาน และ จำแนกดิน ตามระบบ Unified โดยแสดงผลไว้ในตารางที่ 4.2 และได้ทำการแบ่งชั้นดิน ออกเป็นชั้น ๆ โดยแสดงไว้ใน Boring log รูปที่ 4.2 พบว่าชั้นดินเหนียวอ่อนมีความหนาประมาณ 15 เมตร และตั้งแต่ใต้ชั้นดินเหนียวอ่อนจนกระทั่งถึงระดับความลึก 25.00 เมตร เป็นชั้นดินเหนียวแข็ง

ชั้นดินเหนียวอ่อนเป็นดินเหนียวที่มีปริมาณความชื้นตามธรรมชาติมีค่าอยู่ระหว่าง 51-117% มีพลาสติกซีดีอยู่ระหว่าง 40-80% และความหนาแน่นเปียก โดยเฉลี่ยของดินเหนียวอ่อนเท่ากับ 1.55 ตันต่อม.³ สำหรับชั้นดินเหนียวแข็งโดยส่วนใหญ่เป็นดินเหนียวที่มีพลาสติกซีดีต่ำ ($PI = 9-33\%$) ความหนาแน่นเปียกโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.98 ตันต่อม.³ และมีปริมาณความชื้นตามธรรมชาติ อยู่ในช่วงระหว่าง 20-33%

DESCRIPTION			BASIC PROPERTIES						CONSOLIDATION TEST RESULTS						
SAMPLE NO.	DEPTH (m)		WATER CONTENT (%)	ATTERBERG LIMIT (%)			TOTAL UNIT WEIGHT (γ/m^3)	UNIFIED SOIL CLASSIFICATION	EFFECTIVE STRESS σ'_{vo} (γ/m^2)	MAXIMUM PAST - PRESSURE, σ'_{vm} (γ/m^2)	OVER CONSOLIDATION RATIO, OCR	COMPRESSION RATIO, (CR)	RECOMPRESSION RATIO, (RR)	COEFFICIENT OF VOLUME CHANGE (m_v), m^2/t	DRAINED YOUNG'S MODULUS (E) (γ/m^2) $\nu'_s = 0.30$
	FROM	TO		LL.	PL.	PI.									
PST-1	1.00	1.50	78	129	47	82	1.45	CH	1.5						
PST-2	2.00	2.50	117	114	43	71	1.27	CH	1.66	4.2	2.62	0.464	0.0135	0.0185	40
PST-3	3.00	3.50	104	103	37	66	1.40	CH	1.90	4.8	2.52	0.429	0.0278	0.0132	56
PST-4	4.00	4.50	68	76	31	45	1.53	CH	2.50	4.55	1.82	0.235	0.0385	0.0180	41
PST-5	5.00	5.50	51	67	29	38	1.72	CH	3.50	6.25	1.78	0.342	0.0150	0.0126	59
PST-6	6.00	6.50	55	68	28	40	1.62	CH	5.45	6.30	1.15	0.242	0.0167	0.0100	74
PST-7	7.00	7.50	56	91	40	51	1.79	CH	6.00						
PST-8	8.00	8.50	78	98	33	65	1.47	CH	7.00	8.60	1.22	0.384	0.0314	0.005	148
PST-9	9.00	9.50	55	110	36	74	1.61	CH	8.00						
PST-10	10.00	10.50	79	103	37	66	1.40	CH	9.20	9.60	1.04	0.363	0.0425	0.0042	178
PST-11	11.20	11.50	38	30	33	57	1.56	CH	10.25	12.00	1.17	0.225	0.0342	0.0053	139
PST-12	12.00	12.40	42	62	27	35	1.69	CH	11.50	12.5	1.08	0.207	0.0272	0.0042	178
ST-13	13.00	13.35	38	39	14	25	1.62	CL	12.75	21.5	1.68	0.265	0.0315	0.0029	256
ST-14	14.00	14.45	22	47	16	31	1.99	CL	14.25	35.0	2.45	0.123	0.0512	0.0020	369
ST-15	15.00	15.40	20	48	15	33	1.95	CL	15.80	37.0	2.34	0.125	0.0340	0.00175	490
ST-16	16.50	16.85	29	47	17	30	1.98	CL	18.10						
ST-17	18.00	18.35	33	79	28	51	1.81	CH	20.60	43.0	2.08	0.1106	0.0428	0.0013	571
ST-18	19.50	19.85	25	74	23	51	1.85	CL	22.5						
ST-19	21.00	21.35	23	54	22	32	1.97	CH	23.75	46.0	1.93	0.114	0.0265	0.00076	969
SS-20	22.50	22.95	21	32	17	15	2.14	CL							
SS-21	24.00	24.45	22	30	21	9	2.16	CL							

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการทดลองของดินเหนียวอ่อน และดินเหนียวแข็ง จากหลุมเจาะ BH-1 บริเวณ อาคารโรงงาน พระประแดง กรุงเทพฯ

รูปที่ 4.2 Boring log ของดินจากหลุมเจาะ BH-1 อาคารโรงงาน พระประแดง



จากผลการทดสอบ การอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ พบว่าในชั้นดินเหนียวอ่อน มีค่า CR สูง (0.363-0.464) และจะมีค่าลดลง เมื่อใกล้ถึงชั้นดินเหนียวแข็ง ค่า CR โดยเฉลี่ยของชั้นดินเหนียวแข็งเท่ากับ 0.118 สำหรับค่าอัตราส่วน CR/RR ของดินเหนียวอ่อน มีค่าอยู่ระหว่าง 6-34 ส่วนในดินเหนียวแข็ง ค่า CR/RR มีค่าประมาณ 2-4 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของดินในสภาพระบายน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์อัดตัวไคเชิงปริมาตร ซึ่งได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความเครียดและหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง ในสเกลธรรมดา ในช่วงหน่วยแรงระหว่างหน่วยแรงประสิทธิผลตามธรรมชาติ ถึงหน่วยแรงประสิทธิผลสุดท้าย ไคแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 ค่า OCR ของชั้นดิน พบว่าบริเวณใกล้ ๆ ผิวดินมีค่า OCR 3 และจะมีค่าลดลงตามระดับความลึก จนกระทั่งมีสภาพเป็น Normally Consolidated Clay ในชั้นดินเหนียวอ่อน ส่วนในชั้นดินเหนียวแข็งมีค่า OCR อยู่ในช่วงระหว่าง 2.0-2.5 มีสภาพเป็น Over Consolidated Clay

4.2 การวิเคราะห์ การทรุดตัวของ ดั้งตะกอน การประปาภูมิภาค จ.ฉะเชิงเทรา

เนื่องจากการวิเคราะห์ เพื่อหาการทรุดตัวของอาคาร สามารถกระทำได้หลายวิธี ในการศึกษาผู้เขียน ได้เลือกใช้วิธีการที่คาดว่าจะให้ผลเป็นที่น่าพอใจและเหมาะสมกับสภาพชั้นดิน วิธีดังกล่าวคือ

1. วิธีปฏิรูปกลศาสตร์พื้นฐาน โดยใช้อสมมติฐานของ Terzaghi (1925)
2. วิธีปฏิรูปกลศาสตร์พื้นฐาน โดยใช้อสมมติฐานของ Tomlinson (1979)
3. วิธี Modified Theory of Elasticity ของ Poulos และ Davis (1980)

4.2.1 ลักษณะทั่วไปของโครงสร้าง และระบบฐานราก

ดังตักตะกอน การประปาภูมิภาค จ.ฉะเชิงเทรา เป็นอาคารผลิตน้ำประปา ขนาด 200 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ตามแบบมาตรฐานของการประปาภูมิภาค โดยมีฐานรากแบบเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 0.15×0.15 เมตร ความยาวเสาเข็ม 6.00 เมตร จำนวน 1200 ต้น และมีระยะห่างระหว่างแกนกลางของเสาเข็มแต่ละต้นเท่ากับ 0.50 เมตร หัวเสาเข็มแต่ละต้นถูกยึดไว้ด้วยแผ่นพื้น ซึ่งมีลักษณะเป็น Mat foundation ขนาด 24.50×13.00 เมตร ในบริเวณก่อสร้าง ดั้งตะกอน มีการปรับระดับพื้นโดยทำการถมดิน สูงประมาณ 1.00 เมตร ระดับหัวเสาเข็มอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดินถมประมาณ 0.25 เมตร ได้ทำการก่อสร้างเสร็จสมบูรณ์ และเริ่มดำเนินการผลิตน้ำประปาในเดือนมีนาคม 2524

ตารางที่ 4.3 ลักษณะสภาพชั้นดินโดยเฉลี่ย และคุณสมบัติการยุบตัวของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม
ของบริเวณดังกล่าว การประปาจะเชิงเทรา

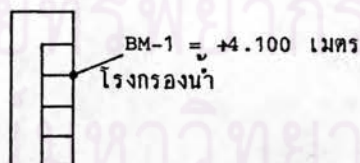
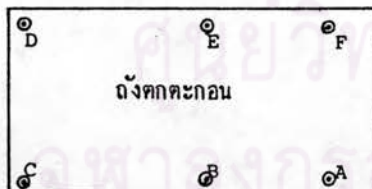
ชั้นที่	ความลึก จากผิวดินถม (ม.)	$1/m_v$ ตัน/ตร.ม.	$E_u^{(1)}$ ตัน/ตร.ม.	$E'_s^{(2)}$ ตัน/ตร.ม.
1	3.75-5.10	70	-	52
2	5.10-6.60	58	-	43
3	6.60-8.10	60	216	44
4	8.10-9.60	79	216	59
5	9.60-11.10	125	305	93
6	11.10-12.60	108	439	80
7	12.60-14.10	96	370	71
8	14.10-16.10	143	321	106

(1) E_u คือ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นแบบไม่ระบายน้ำ ที่ระดับหน่วยแรงเฉือน เท่ากับ 80%
ของกำลังรับแรงเฉือน ที่ได้จากการทดลอง UU test

(2) $E'_s = 0.7428 \times \frac{1}{m_v}$ สำหรับดินเหนียวจากสมการที่ 2.6 เมื่ออัตราส่วนปัวซองแบบ
ระบายน้ำ เท่ากับ 0.3

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดการทรุดตัวของดังกคตะกอน การประปาจะเชิงเทรา เริ่มวัดหลังการก่อสร้างเสร็จแล้ว 1237 วัน

วันที่	จุดที่	การทรุดตัว (เซนติเมตร)					
		A	B	C	D	E	F
20 ก.ค 27		32.7	30.8	26.5	25.7	28.8	29.2
29 ส.ค 27		33.5	31.9	27.6	26.9	30.0	30.2
18 ต.ค 27		34.6	32.7	28.5	28.0	31.3	31.5
10 พ.ค 28		36.7	35.0	30.7	30.5	-	34.0
15 ก.ค 28		37.7	36.2	31.6	31.5	34.9	35.3
16 ส.ค 28		38.1	36.4	32.0	31.5	35.2	35.9
2 ต.ค 28		39.5	37.5	32.8	32.8	36.5	37.0
6 พ.ย 28		39.6	37.8	32.9	32.9	36.7	37.3



ดังตักตะกอนจะทำให้เกิดการทรุดตัวมากกว่าในกรณีที่ไม่มีการถมดิน

การที่ปลายเสาเข็มของฐานรากของตักตะกอนอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อน จะทำให้ไม่เกิดแรงจูงคลงในเสาเข็มกลุ่มชั้น ทั้ง ๆ ที่มีการถมดิน ทั้งนี้เนื่องจากน้ำหนักของตักตะกอน ทำให้ฐานรากเสาเข็มมีการทรุดตัว และอัตราการทรุดตัวมากกว่าดินบริเวณรอบ ๆ เสาเข็มกลุ่ม และการทรุดตัวของดินรอบ ๆ เสาเข็ม เนื่องจากดินถมจะหยุดคลงก่อนดินใต้เสาเข็มกลุ่มควย

ก. การประมาณค่าการทรุดตัวของตักตะกอน โดยวิธีปฏิรูปกลศาสตร์พื้นฐาน
โดยใช้ขอสัมมุติฐาน ของ Terzaghi

พิจารณาระบบฐานรากเป็น Single Raft Foundation การคำนวณค่าการทรุดตัวแบบอัตรากายน้ำของชั้นดินเหนียวอ่อน เนื่องจากน้ำหนักของตักตะกอนและดินถม สามารถหาได้จากสมการที่ (2.7) โดยมีค่าหน่วยแรงเกินทางคิ่งเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำหนักตักตะกอน และการถมดินโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5.0 ตันต่อตร.ม. กระทำบนฐานรากแบบสมมูลย์ (Equivalent mat) ที่ระดับความลึก 2 ใน 3 ของความยาวเสาเข็ม และการกระจายหน่วยแรงจากฐานรากสมมูลย์ ไปยังจุดคิ่งกลางของชั้นดินเหนียวที่แบ่งออกพิจารณา โดยการขยายพื้นที่ของฐานรากสมมูลย์ควยอัตราส่วนทางคิ่งค่องทางราบเท่ากับ 2:1 ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (b)

ผลการคำนวณค่าการทรุดตัวแบบอัตรากายน้ำ ของชั้นดินเหนียวอ่อนเนื่องจากน้ำหนักของตักตะกอน และดินถม ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5

ข. การประมาณค่าการทรุดตัว ของตักตะกอนโดยวิธีปฏิรูปกลศาสตร์พื้นฐาน
โดยใช้ขอสัมมุติฐานของ Tomlinson

ค่าการทรุดตัวของตักตะกอน ประกอบด้วยการทรุดตัว 2 ส่วน คือ การทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก (p_i) และการทรุดตัวแบบอัตรากายน้ำ (p_c) โดยพิจารณาให้ฐานรากของตักตะกอนเป็น Single Raft Foundation และมีค่าหน่วยแรงเกินทางคิ่งที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำหนักของตักตะกอน และการถมดินเท่ากับ 5.0 ตันต่อตร.ม. กระทำบนฐานรากสมมูลย์ยี่ตื้นที่ระดับความลึก 2 ใน 3 ของความยาวเสาเข็ม ดังแสดงในรูป 2.1 (b)

1. การทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก หาได้โดยอาศัยทฤษฎี Elastic ค้างสมการ (2.11) โดยใช้ค่าโมดูลัสยี่ตื้นในสภาพไม่ระบายน้ำ (E_u) ได้จากการทดลอง



ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบการคำนวณค่าการทรุดตัว โดยวิธีปริศนศาสตร์พื้นฐาน
ของ Terzaghi และ Tomlinson ของดินตักตะกอน การประปาฉะเชิงเทรา

ชั้นที่	วิธีการของ Terzaghi		วิธีการของ Tomlinson	
	ค่าการทรุดตัวแบบอค์ตัวคายน้ำ (P_c) ซม.	ค่าการทรุดตัวแบบอค์ตัวคายน้ำ (P_c) ซม.	ค่าการทรุดตัวแบบอค์ตัวคายน้ำ (P_c) ซม.	ค่าการทรุดตัวชั้นที่รับน้ำหนัก (P_i) ซม.
1	11.530		7.321	8.693
2	13.257		11.752	
3	10.956		10.883	
4	7.132		7.727	
5	3.951		4.476	
6	4.045		4.667	
7	4.057		4.731	
8	3.180		3.701	

ค่าการทรุดตัวรวม (ρ_{TF}) ซม. โดยวิธี Terzaghi = ρ_c = 58.108 เซนติเมตร
 ค่าการทรุดตัวรวม (ρ_{TF}) ซม. โดยวิธี Tomlinson = $\rho_c + \rho_i$ = 58.975 เซนติเมตร

UU test ที่ระดับหน่วยแรงเฉือนเท่ากับ 80% ของกำลังรับแรงเฉือน มีค่าเฉลี่ยตลอดชั้นดินเหนียวอ่อนเท่ากับ 285 ตันต่อคร.ม.

2. การทรุดตัวของอัคร์ค้ำค้ำน้ำ สามารถหาได้โดยใช้ทฤษฎี การอัคร์ค้ำค้ำน้ำแบบ 1 มิติ และกระจายหน่วยแรงเกินที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำหนักของดังตกตะกอนและดินถม จากฐานรากสมมูลย์แบบยืดหยุ่นลงสู่ชั้นดินเหนียว โดยวิธี Elasticity ดังแสดงในรูปที่ 2.8 และปรับแก้ค่าการทรุดตัวด้วย Depth factor (μ_d) และ Geological factor (μ_g) ดังแสดงในสมการที่ (2.12)

ผลการคำนวณค่าการทรุดตัว โดยวิธีปฏิรูปกลศาสตร์พื้นฐานของ Tomlinson ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5

ก. การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารโดยวิธี Modified theory of Elasticity ของ Poulos และ Davis

การวิเคราะห์การทรุดตัวโดยวิธีนี้ อาศัยทฤษฎี Elasticity และข้อสมมติฐานให้ดินมีคุณสมบัติเป็น Isotropically linear Elasticity ซึ่งสามารถแยกพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. การทรุดตัวของเสาเข็มเนื่องจากดินในชั้นที่เสาเข็มฝังตัวอยู่ (Founding layers), p_{fd}

การทรุดตัวนี้เกิดขึ้นเนื่องจากดินบริเวณข้างเสาเข็ม ปลายเสาเข็ม และตัวเสาเข็มเอง ใ้รับหน่วยแรงเกินเมื่อเสาเข็มรับน้ำหนักสำหรับฐานรากเสาเข็ม ของดังตกตะกอนฝังตัวอยู่ในเฉพาะชั้นดินเหนียวอ่อน ซึ่งเป็นระบบฐานรากเสาเข็มแบบลอย การทรุดตัวสามารถหาได้จากสมการ (2.14) แต่เนื่องจากไม่มีผลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มในสนาม Poulos (1977) และ Desai (1977) แนะนำให้ใช้ค่า E_u ของดินในการวิเคราะห์ ประมาณ 4 ถึง 10 เท่า ของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของดินที่ได้จากการทดลอง Triaxial test สำหรับการวิจัยนี้ได้เลือกใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของดินที่ได้จากการทดลอง UU test ที่ 3 เท่า 4 เท่า 6 เท่า และ 8 เท่า มาใช้ในการวิเคราะห์

สำหรับระบบฐานรากของดังตกตะกอน ซึ่งมีเสาเข็มจำนวนมาก และลักษณะแผ่นพื้นยึค้ำเสาเข็มเป็นแบบ Rigid cap ค่า p_{fd} สามารถหาได้ดังต่อไปนี้

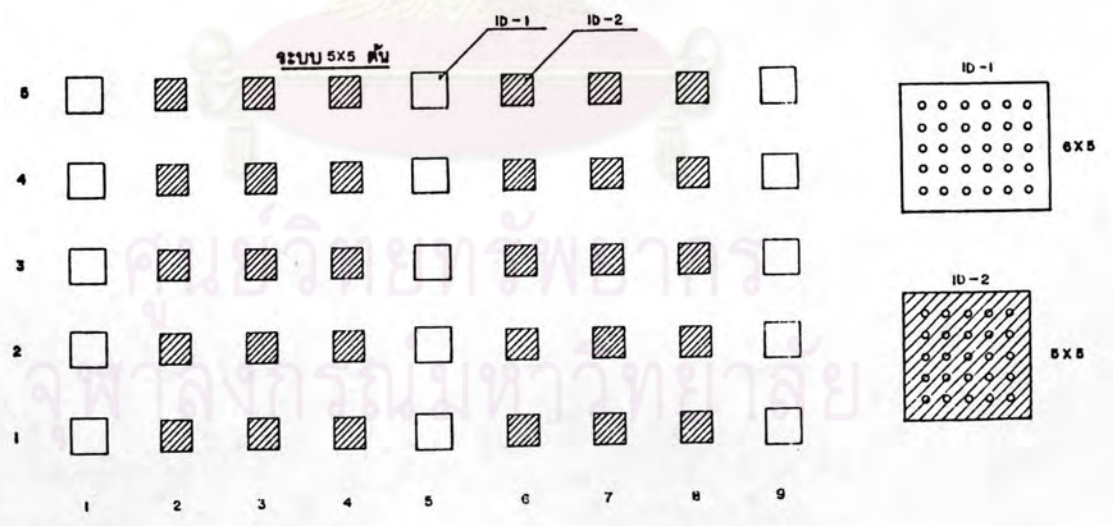
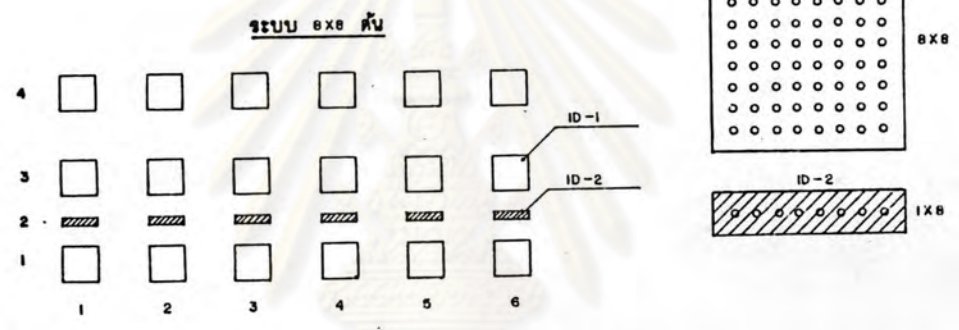
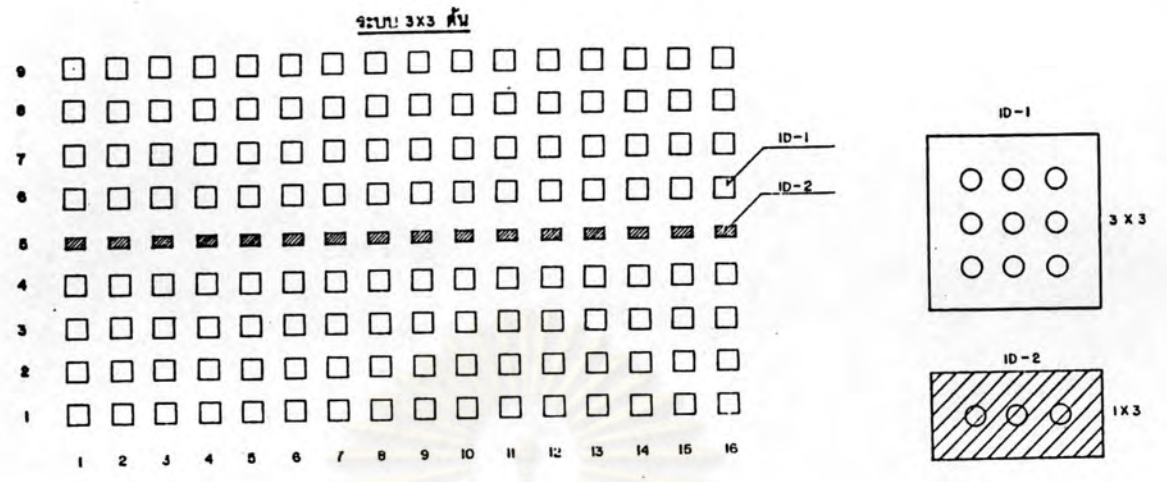
ก. เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ ใ้แบ่งเสาเข็มทั้งหมดในฐานราก ออกเป็นเสาเข็มกลุ่มอิสระย่อย ๆ ให้มีรูปแบบคล้ายคลึงกัน ในการวิจัยนี้ ใ้แบ่งกลุ่มของเสาเข็มอิสระเป็น 3 แบบ คือ 3×3 ต้น 5×5 ต้น และ 8×8 ต้น แต่เนื่องจากไม่สามารถจัดกลุ่มของเสาเข็มอิสระให้เหมือนกันทั้งระบบฐานรากได้ ดังนั้น บางส่วนจึงต้องจัดกลุ่มของเสาเข็มเป็น 1×3 ต้น 1×5 ต้น และ 6×5 ต้น ตามลำดับ ดังรายละเอียดการจัดรูปแบบของกลุ่มเสาเข็มอิสระในรูปที่ 4.3

ข. เมื่อพิจารณาฐานรากทั้งระบบ เสาเข็มกลุ่มอิสระแต่ละกลุ่มจะถูกพิจารณาเป็นเสาเข็มเดี่ยวสมมูลย์ ที่มีการทรุดตัวเท่ากับเสาเข็มกลุ่ม โดยที่ความยาวของเสาเข็มสมมูลย์เท่ากับความยาวของเสาเข็มกลุ่ม แต่พิจารณาเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลย์ ดังนั้นระบบฐานรากจะเป็นระบบฐานรากสมมูลย์ ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของเสาเข็มขนาดใหญ่

ค. ในระบบฐานรากสมมูลย์ ค่าพารามิเตอร์การทรุดตัว p_{fd} ของเสาเข็มสมมูลย์ในระบบฐานรากแต่ละต้น โดยอาศัยสมการที่ (2.14) เลือกเสาเข็มสมมูลย์ ต้นที่จะเป็นตัวแทนของระบบฐานรากสมมูลย์ทั้งหมด เพื่อจะหาค่าการทรุดตัวที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากผลกระทบ (Interaction, α) จากเสาเข็มสมมูลย์ต้นอื่น ๆ ในระบบฐานรากสมมูลย์ โดยเลือกเสาเข็มสมมูลย์ต้นบริเวณกลางกลุ่มของเสาเข็มทั้งหมด และหาค่าการทรุดตัวที่เพิ่มขึ้น เมื่อได้รับผลกระทบจากเสาเข็มสมมูลย์ข้างเคียง โดยใช้สมการ (2.21) หรือ (2.22) ค่าการทรุดตัวของระบบฐานรากของถังตกตะกอน ในชั้น Founding เท่ากับ 90% ของผลรวมระหว่างค่าการทรุดตัวของเสาเข็มสมมูลย์ต้นกลางที่เลือกเป็นตัวแทนของระบบฐานรากสมมูลย์ รวมกับค่าการทรุดตัวที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากได้รับผลกระทบจากเสาเข็มสมมูลย์ข้างเคียงต้นอื่น ๆ ในระบบฐานรากทั้งหมด

2. การทรุดตัวของดิน เนื่องจากดินในชั้นที่อยู่ใต้อุปลงเสาเข็มรับน้ำหนัก (Underlying layers), p_{ud}

การทรุดตัวนี้เกิดจากการที่ชั้นดินใต้อุปลงเสาเข็มได้รับแรงเค้นเพิ่มขึ้นที่ถ่ายมาจากเสาเข็ม สามารถหาได้จาก การเลือกพิจารณาเสาเข็มสมมูลย์ต้นกลางที่ถูกเลือกให้เป็นตัวแทนของระบบฐานรากสมมูลย์ โดยใช้สมการที่ (2.23) และอาศัยวิธี Superimpose เพื่อรวมผลของค่าการทรุดตัวนี้ เนื่องจากเสาเข็มสมมูลย์ต้นข้างเคียงด้วย โดยใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของดินแต่ละชั้นที่แบ่งออกพิจารณา ในสภาพระบายน้ำ (E_s) ที่ได้จากการทดลองการอัดตัวคายน้ำด้วยเครื่อง Oedometer ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงการจัดกลุ่มของเสาเข็มยอยอิสระ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวของดังกะกอน การประปาจะเซ็งเทรา โคววิธีการของ Poulos และ Davis (1980)

สำหรับการทรุดตัวของชั้นดิน เนื่องจากดินถมสามารถทำได้โดยอาศัย
ทฤษฎีการอัดตัวคายนํ้าแบบ 1 มิติ และการกระจายหน่วยแรงลงสู่ชั้นดินเหนียว โดยวิธี Elasticity
ดังแสดงในรูปที่ 2.8

สรุปผลการวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวของดังตกตะกอน โดยวิธี Modified
Theory of Elasticity ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6

ง. การประมาณค่าการทรุดตัว โดยวิธี Curve fitting ของ
Asaoka

เนื่องจากฐานรากของดังตกตะกอน เป็นฐานรากแบบเสาเข็มสั้น และ
ลักษณะแผ่นพื้นยี่ศิวเสาเข็ม เป็น Mat Foundation ดังนั้น พฤติกรรมของการกระจายหน่วยแรง
เกินทางคั้งที่เพิ่มขึ้น คล้ายคลึงกับคันทาง (Embankment) จึงสามารถใช้วิธีการประมาณค่าการ
ทรุดตัวโดยวิธีของ Asaoka ได้

Asaoka (1978) ได้เสนอวิธีการประมาณค่าการทรุดตัวโดยอาศัย
ข้อมูลการทรุดตัวที่วัดได้ในสนาม ดังแสดงในรูปที่ 2.22 จากข้อมูลการทรุดตัวของดังตกตะกอน
ในตารางที่ 4.4 สามารถหาค่าการทรุดตัวสุดท้ายของดังตกตะกอน โดยเฉลี่ยทั้ง 6 จุด มีค่าเท่า
กับ 58 เซนติเมตร

4.2.4 อัตราการทรุดตัว ของดังตกตะกอน การประปาอะเซ็งเทร่า

การวิเคราะห์หาอัตราการทรุดตัวของชั้นดินที่ถูกต้อง เป็นการยากลำบากมาก
เพราะสภาพที่แท้จริงของชั้นดิน ไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั้งหมด และการระบายน้ำมีลักษณะซับซ้อน
ในการวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายนํ้า (C_v) ออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

1. วิธีปรุพีทกลศาสตร์พื้นฐาน โดยพิจารณาว่าฐานรากของดังตกตะกอน มี
พฤติกรรมเหมือนฐานรากดิน ค่า C_v สามารถหาได้จาก การทดสอบการอัดตัวคายนํ้าด้วยเครื่อง
Oedometer ในห้องปฏิบัติการ โดยพิจารณาในระดับความลึกของชั้นดิน และระดับของหน่วยแรง
ต่าง ๆ ($C_{v(Lab)}$) และสามารถหาได้ก็วิธีจากผลข้อมูลการทรุดตัวของดังตกตะกอนในสนาม
ได้นำมาวิเคราะห์หาค่า C_v โดยการคำนวณย้อนกลับ โดยใช้ Time factor ของทฤษฎีการอัด
ตัวคายนํ้า 1 มิติ ของ Terzaghi

ในการวิเคราะห์หาอัตราการทรุดตัว จำเป็นจะต้องทราบถึงลักษณะของการ

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์การทรุดตัวของ ดั้งตกตะกอน การประปาจะเชิงเทรา โดยวิธี Modified theory of elasticity ของ Poulos และ Davis

ลักษณะการ จัดกลุ่มเสา เข็ม	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ดิน/ตารางเมตร	ค่า pile Stiff- ness (K)	ค่าการทรุดตัวในชั้น founding layers (p_{fd}) ซม.	ค่าการทรุดตัวในชั้น Underlying layers (p_{ud}) ซม.	ค่าการทรุดตัวรวม $p_T = p_{ud} + p_{fd}$ (ซม.)
3x3	(1) $E_s'' = 3E_s'$ (2)	4425	11.647	46.119	51.990
	$E_s'' = 4E_s'$	3319	8.716		49.352
	$E_s'' = 6E_s'$	2212	5.713		46.648
	$E_s'' = 8E_s'$	1659	4.057		45.168
5x5	$E_s'' = 3E_s'$	4425	10.642	44.235	49.390
	$E_s'' = 4E_s'$	3319	8.476		47.440
	$E_s'' = 6E_s'$	2212	5.742		44.979
	$E_s'' = 8E_s'$	1659	4.392		43.765
8x8	$E_s'' = 3E_s'$	4425	11.413	41.565	47.687
	$E_s'' = 4E_s'$	3319	8.532		45.133
	$E_s'' = 6E_s'$	2212	5.766		42.643
	$E_s'' = 8E_s'$	1659	4.296		41.320

- (1) E_s'' คือ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของดิน-เสาเข็ม แบบบรรยายที่ใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัวของเสาเข็มเนื่องจากชั้นดินที่เสาเข็มฝังอยู่
- (2) E_s' คือค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของดินแบบบรรยายที่ได้จากผลการทดลอง UU test โดยใช้ความสัมพันธ์ $E_s' = 0.8666 E_u$ ที่อัตราส่วน
ปัวซองเท่ากับ 0.3

ระบายน้ำเสียก่อนว่าเป็นแบบทิศทางเดียว หรือ 2 ทิศทาง จากข้อมูลความดันน้ำที่วัดได้จาก Piezometer ในบริเวณดังกล่าว การประปาจะเชิงเทรา นำมาคำนวณค่าเฮดรวม (Total Head) กับระดับความลึก พบว่าลักษณะของการระบายน้ำของชั้นดินเหนียวอ่อน สามารถไหลออกได้เพียงทิศทางเดียว ดังนั้นความยาวของเส้นทางระบายน้ำ (Drainage Path) คือระยะระหว่างระดับความลึก 2 ใน 3 ของความยาวเสาเข็ม กับเส้นขอบเขตระหว่างชั้นดินเหนียวอ่อน และดินเหนียวแข็งซึ่งมีค่าเท่ากับ 12.35 เมตร

2. สำหรับอัตราการทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยวแบบลอย Poulos และ Davis (1968) ได้เสนอการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำ โดยให้มีความสัมพันธ์กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม ($T_v = \frac{C_v \cdot t}{d^2}$) ดังแสดงในรูปที่ 2.24

เนื่องจากฐานรากของถังกดตะกอน ประกอบด้วยเสาเข็มจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อให้สามารถใช้วิธีการวิเคราะห์อัตราการทรุดตัวของ Poulos และ Davis (1968) ได้ จึงพิจารณาเสาเข็มทั้งหมดในฐานรากของถังกดตะกอน เป็นเสาเข็มเดี่ยวสมมูลเพียงต้นเดียวที่มีความยาวของเสาเข็มเดี่ยวสมมูล เท่ากับความยาวของเสาเข็มเดิมคือ 6.00 เมตร แต่พิจารณาเส้นผ่าศูนย์กลางเป็นเส้นผ่าศูนย์กลางสมมูล (d_e) ของเสาเข็มทั้งหมดในฐานรากของถังกดตะกอน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10.940 เมตร ดังนั้นฐานรากของถังกดตะกอนทั้งหมด จะถูกพิจารณาเป็นเสาเข็มเดี่ยวสมมูลที่มีความยาวเท่ากับ 6.00 เมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลางสมมูลเท่ากับ 10.940 เมตร ซึ่งจะให้อัตราส่วนระหว่างความยาวของเสาเข็ม กับ เส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็มเดี่ยวสมมูล (L/D) เท่ากับ 0.584 จากตารางที่ 2.24 แสดงให้เห็นว่าที่ค่า $L/D = 0.584$ ใ้ค่า Time factor แตกต่างจาก Surface loading ($L/D = 0$) เพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมของเสาเข็มเดี่ยวสมมูลที่พิจารณาแทนฐานรากของถังกดตะกอนทั้งหมด มีพฤติกรรมของอัตราการทรุดตัวคล้ายคลึงกับฐานรากคาน้ำ ค้ำสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำ ของเสาเข็มเดี่ยวสมมูล โดยอาศัยวิธีการวิเคราะห์ของ Poulos และ Davis สามารถทำได้ โดยอาศัยข้อมูลการทรุดตัวในสนาม และทำการคำนวณย้อนกลับ โดยใช้ค่า Time factor ที่ได้จากตารางที่ 2.24

ผลการวิเคราะห์ ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำ แบบต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7

จากลักษณะการระบายน้ำและค่า C_v สามารถนำมาวิเคราะห์หาค่าอัตราการทรุดตัวของชั้นดิน โดยพิจารณาให้ค่า C_v คงที่ตลอดชั้นดินเหนียวอ่อนรูปที่ 4.4 แสดงการ

ตารางที่ 4.7 แสดงผลของการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การอัดตัวคาน้ำ บริเวณการประปา
จะเซ็งเทรา

วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์	c_v , ซม. ² / ต่อวัน
ผลจากการทดลอง การอัดตัวคาน้ำ ในห้องปฏิบัติการ (Lab)	68
ปรูฟักลศาสตร์พื้นฐาน (คำนวณกลับจากทฤษฎี- ของ Terzaghi)	286
เสนอแนะโดย Poulos และ Davis (1968) ที่ $L/D = 0.584$	533
วิธีการของ Poulos และ Davis (1968) ที่ $L/D = 0$ (Surface loading)	233

เปรียบเทียบอัตราการทรุดตัวซึ่งใช้ค่า C_v แบบปรุพิกลศาสตร์พื้นฐาน กับ ข้อมูลที่วัดได้จริงในสนาม และรูปที่ 4.5 แสดงอัตราการทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยวสมมูลย์ที่ $L/D = 0.584$ และ $L/D=0$ (Poulos และ Davis, 1968) เปรียบเทียบกับข้อมูลการทรุดตัวในสนาม

4.2.5 สรุปผลและวิจารณ์ผลการวิเคราะห์การทรุดตัว ของถังตกตะกอน การประปา ฉะเชิงเทรา

การวิเคราะห์การทรุดตัว ของถังตกตะกอน โดยวิธีปรุพิกลศาสตร์พื้นฐาน ได้กระทำโดยพิจารณา ระบบฐานรากเป็น Mat Foundation ซึ่งตั้งอยู่บนเสาเข็มที่ฝังตัวอยู่ใน ชั้นดินเหนียวอ่อน ผลการวิเคราะห์โดยอาศัยทฤษฎีการอัดตัวของ Terzaghi ซึ่งเป็นการ ทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวของน้ำ (p_{cf}) เพียงอย่างเดียว พบว่ามีค่าเท่ากับ 58.108 เซนติเมตร ส่วนวิธีการที่ใช้สมมติฐานของ Tomlinson ซึ่งพิจารณาให้เกิดความคืบหน้าในโพรงดินเพิ่มขึ้นใน ลักษณะ 2 หรือ 3 มิติ เมื่อมวลดินได้รับแรงกระทำจากภายนอกมีค่าการทรุดตัวรวม p_{TF} เท่ากับ 58.975 เซนติเมตร ซึ่งประกอบไปด้วยการทรุดตัวในทันที (p_i) เท่ากับ 8.693 เซนติเมตร และการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวของชั้นดินไต่ปลายเสาเข็ม (p_c) เท่ากับ 50.282 เซนติเมตร อัตราส่วนระหว่างการทรุดตัวจากการอัดตัวของน้ำ ต่อการทรุดตัวในทันทีเท่ากับ 5.78 เมื่อพิจารณาค่าการทรุดตัวสุดท้ายของทั้งสองวิธีพบว่า วิธีการที่ใช้สมมติฐานของ Tomlinson จะให้ค่าการทรุดตัวสุดท้ายที่มากกว่าของ Terzaghi ประมาณ 1.5 %

ส่วนการวิเคราะห์การทรุดตัว ของถังตกตะกอน โดยวิธี Modified Theory of Elasticity เนื่องจากในระบบฐานรากประกอบด้วย เสาเข็มสั้นจำนวนมาก จึงได้แบ่ง พิจารณาระบบฐานรากเป็นเสาเข็มกลุ่มย่อย ๆ อีกระเบแบบ 3×3 ต้น 5×5 ต้น และ 8×8 ต้น ใน การวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวของ Founding Layers (p_{fd}) ไม่มีผลการทดสอบการรับน้ำหนัก ของเสาเข็มในสนาม จึงได้ใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของดินที่ได้จากการทดลอง UU test ที่ 3 เทา 4 เทา 6 เทา และ 8 เทา มาใช้ในการวิเคราะห์ พบว่าในการจําลุ่มของเสาเข็มอีกระเบแบบ เดียวกัน การทรุดตัวที่ใช้ค่า E_s เป็น 3 เท่านี้ให้ค่าการทรุดตัวเนื่องจาก Founding Layers มากที่สุด และการทรุดตัวค่อย ๆ ลดลงไปตามลำดับ เมื่อค่า E_s สูงขึ้น ผลการวิเคราะห์พบว่า การเปลี่ยนค่า E_s ระหว่าง 3-8 เทา ให้ค่า p_{fd} แตกต่างกัน 65% แต่เมื่อรวมผลการทรุดตัว ของ Underlying Layers แล้ว พบว่าจะให้ค่าการทรุดตัวสุดท้ายแตกต่างกันเพียง 5% ถึง 15% ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณการทรุดตัวส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นใน Underlying Layers (p_{ud}) จากผล

การวิเคราะห์ พบว่าสัดส่วนระหว่างค่าการทรุดตัวของ Underlying Layers กับค่าการทรุดตัวของ Founding Layers (p_{ud}/p_{fd}) มีค่าประมาณ 4 ถึง 10 หรือแตกต่างกันประมาณ 2 เท่าครึ่ง ที่โมดูลัสยืดหยุ่นของดินต่าง ๆ (3 เท่า ถึง 8 เท่า) ส่วนการจํารูปแบบของเสาเข็มกลุ่มอิสระย่อย ๆ มีผลต่อค่าการทรุดตัวของฐานราก โดยที่ผลการวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวแสดงให้เห็นว่า เมื่อจํารูปแบบเสาเข็มกลุ่มย่อยแบบ 3x3 ตน จะให้ค่าการทรุดตัวสุดท้าย มากกว่าแบบ 8x8 ตน ประมาณ 10%

สำหรับการประมาณค่าการทรุดตัวโดยวิธี Curve fitting ของ Asaoka (1978) โดยอาศัยข้อมูลการทรุดตัวที่วัดได้ในสนาม พบว่าให้ค่าการทรุดตัวสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 57.818 เซนติเมตร ในตารางที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวสุดท้าย โดยใช้วิธีการในการวิเคราะห์ต่าง ๆ กัน

สรุปผลการวิเคราะห์การทรุดตัวของถังตกตะกอน พบว่าถึงแม้ว่าการวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวโดยวิธีปฏิรูปกลศาสตร์พื้นฐานทั้งของ Terzaghi (1948) และ Tomlinson (1979) จะมีข้อสมมุติฐานไม่คอยตรงกับความเป็นจริงทั้งการถ่ายน้ำหนักลงสู่มวลดิน และการทรุดตัวของชั้นดิน แต่จากผลในการประมาณค่าการทรุดตัว พบว่าให้ค่าการทรุดตัวที่ใกล้เคียง กับวิธี Modified Theory of Elasticity ของ Poulos และ Davis (1980) ซึ่งพิจารณาความเป็นจริงของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในมวลดิน ได้ดีกว่าวิธีปฏิรูปกลศาสตร์พื้นฐาน ดังนั้นวิธีการวิเคราะห์การทรุดตัว โดยวิธีปฏิรูปกลศาสตร์พื้นฐาน สำหรับฐานรากแบบ Mat Foundation ของเสาเข็มสั้นในชั้นดินเหนียวอ่อน จึงให้ค่าอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ เนื่องมาจากการทรุดตัวของระบบฐานรากแบบนี้ เกิดจากการทรุดตัวในชั้นดินที่อยู่ใตปลายเสาเข็มเป็นส่วนใหญ่ ส่วนการประมาณค่าการทรุดตัวโดยวิธี Modified Theory of Elasticity ของ Poulos และ Davis (1980) ถึงแม้ว่ามีข้อสมมุติฐานที่ใกล้เคียงกับความจริงมากกว่าวิธีปฏิรูปกลศาสตร์พื้นฐาน แต่ก็ยังไม่สามารถครอบคลุมอิทธิพลจากปัจจัยที่เป็นตัวแปรบางอย่างได้ ซึ่งเป็นการยากแก่การพิจารณาอิทธิพลต่อการทรุดตัวของอาคารทั้งหมด เพื่อให้ค่าที่ประมาณได้ใกล้เคียงกับความจริงมากที่สุดจึงจำเป็นต้องพิจารณาเลือกใช้ตัวแปรที่เหมาะสม ในการประมาณค่าการทรุดตัวของ Founding layers พบว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของดินจากการทดลอง UU test ที่ 3 เท่า - 4 เท่า สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ นอกจากนี้การจํารูปแบบของฐานรากย่อยๆ อิสระ ยังมีผลต่อการประมาณค่าการทรุดตัวอีกด้วย ซึ่งยังไม่สามารถหาข้อสรุปได้ว่า การจํารูปแบบฐานรากแบบใดจะให้ค่าที่ถูกต้องที่สุด

ตารางที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ ค่าการทรุดตัว ของถังตกตะกอน การประปา
ฉะเชิงเทรา โยธาวิธานต่าง ๆ

วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์		ค่าการทรุดตัวสุดท้าย (เซนติเมตร)
วิธีปฏิรูปกลศาสตร์พื้นฐาน ของ Terzaghi (1925)		58.108
วิธีปฏิรูปกลศาสตร์พื้นฐาน ของ Tomlinson (1979)		58.975
วิธี Curve fitting ของ Asaoka (1978)		57.918
วิธี Modified Theory of Elasticity ของ Poulos และ Cavis (1980)		
จํักลุ่มเสาเข็ม แบบ 3×3 คน	$E_s = 3E_s'$	51.990
	$E_s = 4E_s'$	49.352
	$E_s = 6E_s'$	46.648
	$E_s = 8E_s'$	45.158
จํักลุ่มเสาเข็ม แบบ 5×5 คน	$E_s = 3E_s'$	49.390
	$E_s = 4E_s'$	47.440
	$E_s = 6E_s'$	44.979
	$E_s = 8E_s'$	43.765
จํักลุ่มเสาเข็ม แบบ 8×8 คน	$E_s = 3E_s'$	47.687
	$E_s = 4E_s'$	45.133
	$E_s = 6E_s'$	42.643
	$E_s = 8E_s'$	41.320

สำหรับการประมาณค่าการทรุดตัวโดยวิธี Curve Fitting ของ Asaoka (1978) ซึ่งมีรากฐานมาจากทฤษฎีการอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ โดยอาศัยข้อมูลการทรุดตัวที่วัดได้ในสนาม สามารถประมาณค่าการทรุดตัวได้ผลอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ เนื่องจากฐานรากของถังตะกอนเป็นเสาเข็มสั้นที่อยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อน และลักษณะแผ่นพื้นยัดตัวเสาเข็มเป็น Mat Foundation ซึ่งมีพฤติกรรมคล้ายคันทาง (Embankment) จึงสามารถใช้วิธีของ Asaoka ได้ผล

การวิเคราะห์หัตถการการทรุดตัวของฐานราก โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำ (C_v) พบว่าค่า $C_{v(lab)}$ = 68 ซม.²/วัน ที่ได้จากการทดลอง Consolidation จะให้หัตถการการทรุดตัวที่ช้ากว่าความเป็นจริงมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.4 วิธีการที่เหมาะสมคือ การใช้ข้อมูลการทรุดตัวในสนาม และ Time factor ของทฤษฎีการอัดตัวคายน้ำ 1 มิติ ของ Terzaghi ทำการคำนวณกลับซึ่งให้ค่า C_v = 286 ซม.²/วัน แต่เนื่องจากข้อมูลการทรุดตัวในสนามมีไม่มากนัก จึงยังไม่สามารถสรุปได้ว่าเป็นวิธีการที่ถูกต้องที่สุด

ส่วนวิธีการหัตถการการทรุดตัวที่เสนอโดย Poulos และ Davis (1968) ซึ่งพิจารณาระบบฐานรากทั้งหมดของถังตะกอน เป็นเสาเข็มเดี่ยวสมมูลย์เพียงต้นเดียวที่อัตราส่วน L/D = 0.584 ทำการคำนวณกลับจากข้อมูลการทรุดตัวที่มีอยู่ โดยใช้ Time factor ในรูปที่ 2.24 จะให้ค่า C_v = 533 ซม.²/วัน และที่อัตราส่วน L/D = 0 (Surface loading) ให้ค่า C_v = 233 ซม.²/วัน เมื่อเปรียบเทียบหัตถการการทรุดตัวแบบทั้งสอง พบว่าหัตถการการทรุดตัวแตกต่างกันน้อยมาก เนื่องจากเมื่อพิจารณาระบบฐานราก เป็นเสาเข็มเดี่ยวสมมูลย์แล้ว พฤติกรรมของเสาเข็มนี้จะใกล้เคียงกับลักษณะของ Surface loading

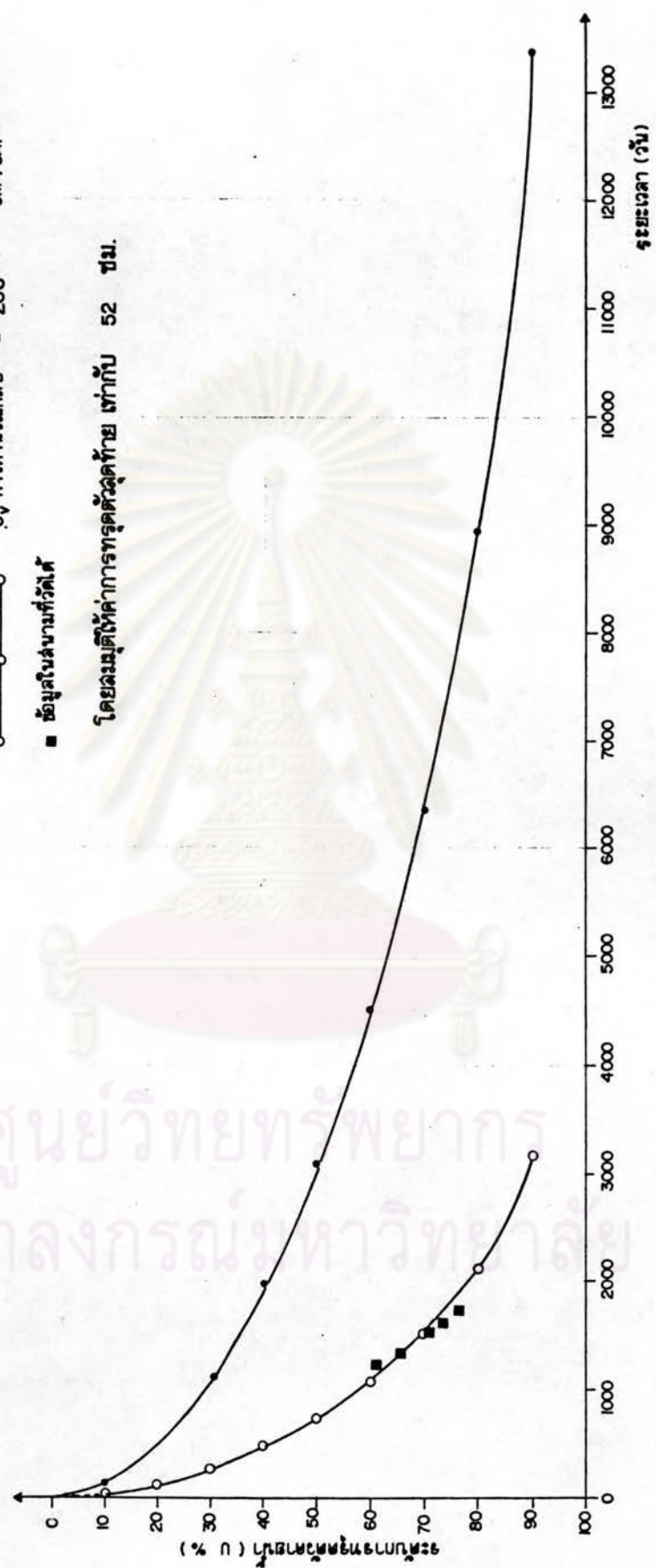
จากผลการวิเคราะห์การทรุดตัวของ Poulos และ Davis พบว่ามีแนวโน้มที่จะให้หัตถการการทรุดตัวที่เร็วเกินกว่าข้อมูลที่วัดได้ในสนามมากในช่วง 60% แรกของการทรุดตัว ส่วนในช่วงหลังจากนั้นให้หัตถการการทรุดตัวที่ช้ามาก เนื่องจากวิธีการวิเคราะห์การทรุดตัวที่เสนอโดย Poulos และ Davis (1968) แนะนำให้ใช้กับเสาเข็มเดี่ยว และไม่ได้นำถึงผลกระทบของเสาเข็มข้างเคียง ดังนั้นการพิจารณาระบบฐานรากของถังตะกอน เป็นเสาเข็มเดี่ยวสมมูลย์เพียงต้นเดียว โดยไม่ได้นำถึงผลกระทบจากเสาเข็มข้างเคียง และใช้วิธีการวิเคราะห์การทรุดตัวที่เสนอโดย Poulos และ Davis (1968) จึงให้หัตถการการทรุดตัวที่วิเคราะห์ได้แตกต่างจากข้อมูลในสนามมาก

สรุปผลการวิเคราะห์หัตถการการทรุดตัวของถังตะกอน การประปาจะเชิงเตตรา

$C_v \text{ LAB} = 68 \text{ CM}^2/\text{DAY}$
 $C_v \text{ การคำนวณกลับ} = 286 \text{ CM}^2/\text{DAY}$

■ ข้อมูลในสนามที่วัดได้

โดยเฉลี่ยได้ค่าการทรุดตัวสุดท้าย เท่ากับ 52 ซม.



รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบการวิเคราะห์หัตถการทรุดตัว โดยอาศัยหตุยู่การวัดตัวภายใน 1 มิติ กับข้อมูลการทรุดตัว ของถังตะกอม การประปาจะเข็งเทรา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการวิเคราะห์หัตถการทรุคควัที่อาศัยข้อมูลการทรุคควัในสนาม และคำนวณกลับโดยอาศัยทฤษฎีการอค์ควัคายน้ํา ของ Terzaghi จะให้หัตถการทรุคควัที่ใกล้เคียงกับข้อมูลในสนาม เนื่องจากลักษณะฐานราก และพฤติกรรมการกระจายหน่วยแรงของดั่งตกตะกอน มีลักษณะเหมือนฐานรากคั้น และวิธีการวิเคราะห์หัตถการทรุคควัของ Terzaghi ก็มีรากฐานมาจากการวิเคราะห์ฐานรากคั้น ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้วิเคราะห์ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ส่วนวิธีการวิเคราะห์หัตถการทรุคควัโดยวิธีของ Poulos และ Davis (1968) ถึงแม้ว่าจะได้พิจารณาแบบฐานรากของดั่งตกตะกอน เป็นเสาเข็มเดี่ยวสมมุทธ์เพียงต้นเดี่ยว ซึ่งให้หัตถการส่วน L/D ใกล้เคียงกับฐานรากคั้น แต่วิธีการนี้แนะนำให้ใช้กับเสาเข็มเดี่ยว ซึ่งไม่คำนึงถึงผลกระทบของเสาเข็มข้างเคียง ดังนั้นการพิจารณาระบบฐานรากของดั่งตกตะกอน เป็นเสาเข็มสมมุทธ์เพียงต้นเดี่ยว ใช้ในการวิเคราะห์หัตถการทรุคควัจึงให้ค่าที่ไม่ถูกต้อง จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าลักษณะการทรุคควัที่วิเคราะห์โดยวิธีของ Poulos และ Davis จะมีหัตถการทรุคควัในแรกเร็วมาก และช้าในช่วงหลัง ซึ่งเป็นลักษณะการทรุคควัของเสาเข็มเดี่ยว ที่ไม่มีผลกระทบจากเสาเข็มข้างเคียง

4.3 การวิเคราะห์การทรุคควัของอาคารโรงงาน พระประแดง กรุงเทพฯ

4.3.1 ลักษณะทั่วไปของโครงสร้างโรงงาน และลักษณะฐานราก

อาคารโรงงานที่จะทำการศึกษานี้ เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กชั้นเดียว เริ่มดำเนินการก่อสร้าง ในเดือนกรกฎาคม 2507 และก่อสร้างเสร็จสมบูรณ์ในเดือนธันวาคม ในปีเดียวกัน เนื่องจากบริเวณก่อสร้างมีลักษณะเป็นลุ่มริมแม่น้ำเจ้าพระยา เพื่อป้องกันการเกิดน้ำท่วมได้มีการถมทรายปรับระดับ สูงจากระดับผิวดินเดิมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.50 เมตร ฐานรากของโรงงานเป็นเสาเข็มกลุ่มมีจำนวนเสาเข็มอยู่ระหว่าง 1 ถึง 6 ต้น เสาเข็มที่ใช้เป็นเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 0.25×0.25 เมตร มีความยาวเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 18.50 เมตร ถึง 21.00 เมตร ทำการก่อสร้างโดยการตอกผ่านชั้นดินเหนียวอ่อน และฝังตัวอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็ง ผลจากการวิเคราะห์แสดงว่าน้ำหนักจากโครงสร้าง และน้ำหนักบรรทุกจรที่ถ่ายลงฐานรากแต่ละกลุ่ม และถ่ายลงเสาเข็มแต่ละต้น เปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 14 ตันต่อต้น และ 23 ตันต่อต้น การจัดวางฐานราก น้ำหนักกระทำต่อเสาเข็มแต่ละต้นของฐานรากเสาเข็มกลุ่มที่ได้จากการวิเคราะห์ ความยาวเสาเข็ม และปริมาณเสาเข็มในฐานราก ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.6

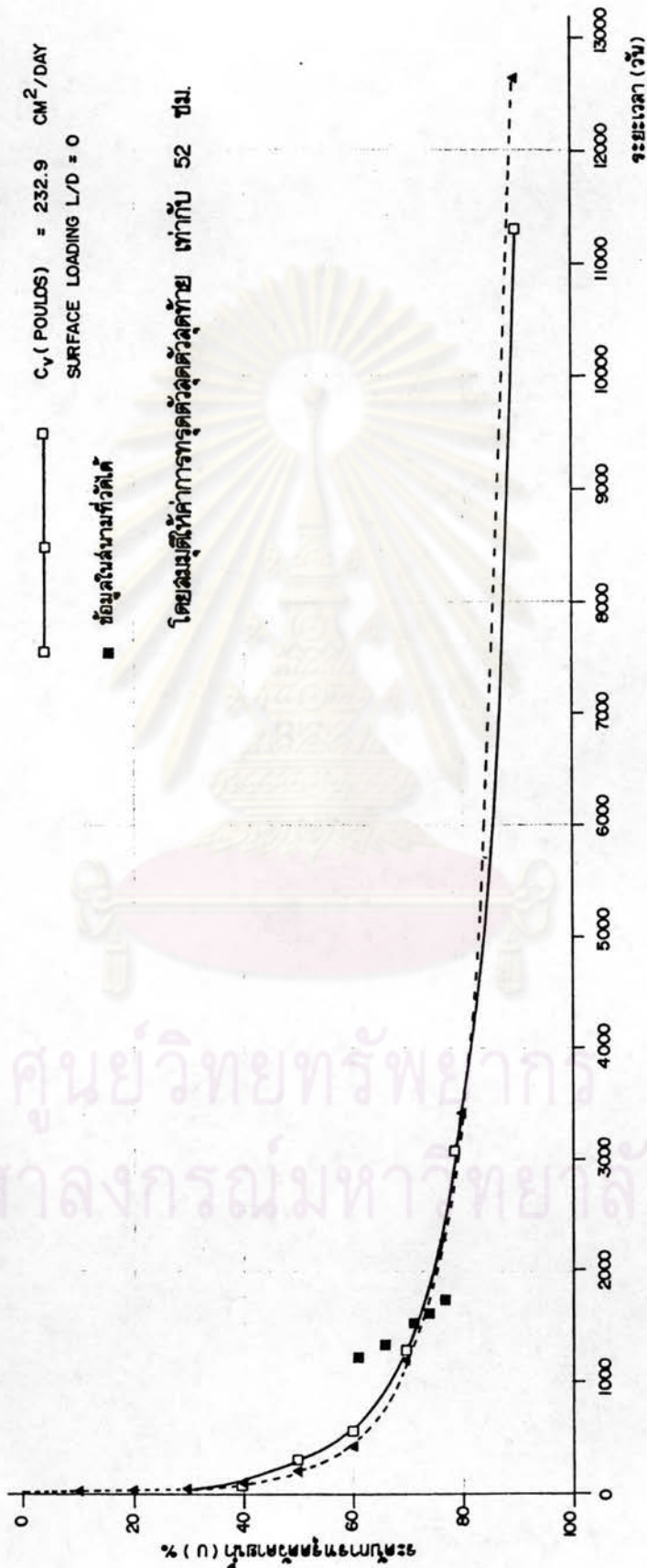
4.3.2 ข้อมูลทางปฐพีวิศวกรรม

1. ข้อมูลสภาพชั้นดิน เพื่อทราบถึงสภาพชั้นดิน ได้ทำการเจาะสำรวจสภาพ

$C_v(\text{POULOS}) = 533.4 \text{ CM}^2/\text{DAY}$
 $L/D = 0.584$
 $C_v(\text{POULOS}) = 232.9 \text{ CM}^2/\text{DAY}$
 $\text{SURFACE LOADING } L/D = 0$

▲ ----- ▲
 □ ----- □
 ■ ข้อมูลในสนามที่วัดได้

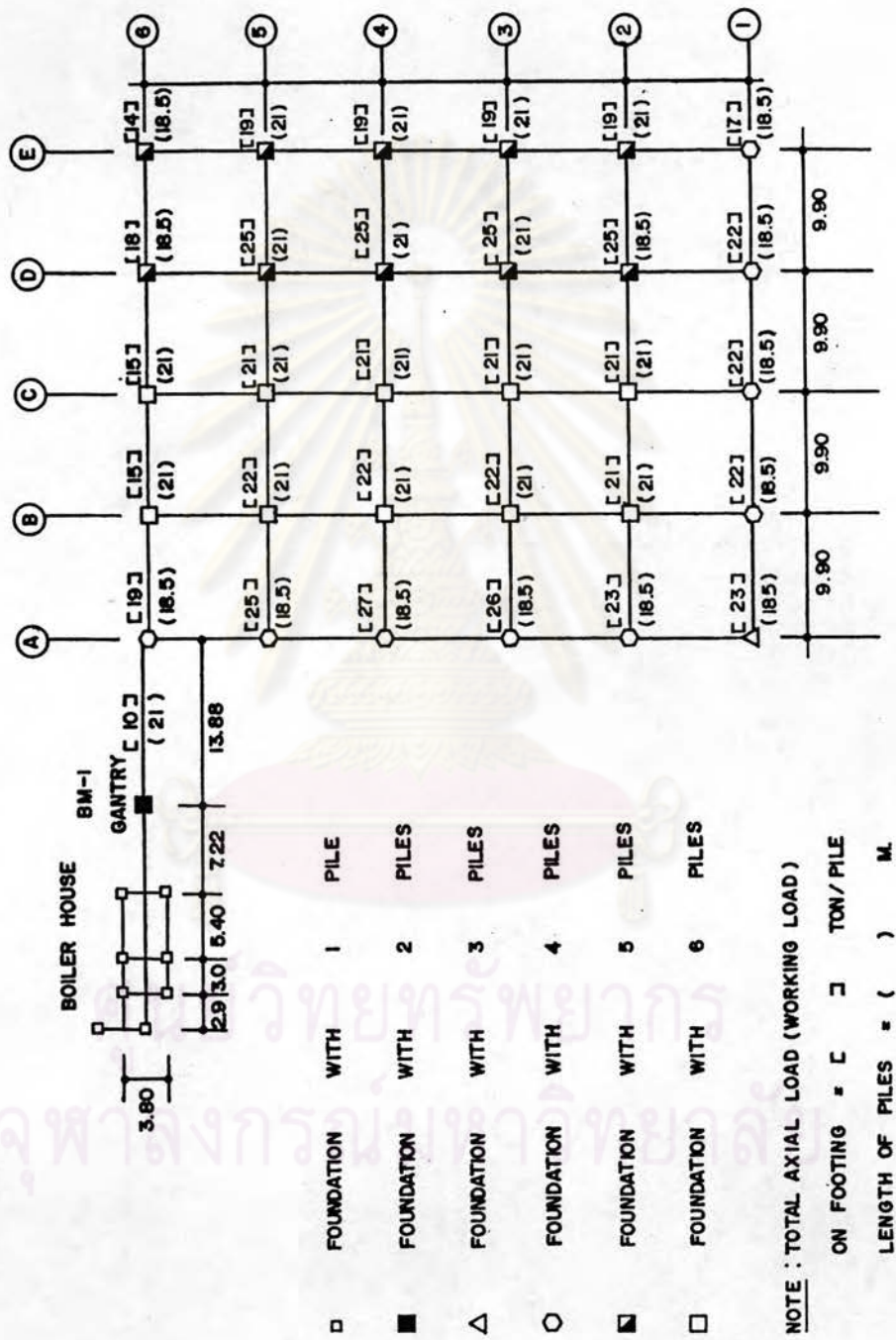
โดยสมมุติให้ค่าการทรุดตัวจุดวัดสุดท้าย เท่ากับ 52 ซม.



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบการวิเคราะห์หัตถการทรุดตัวของเสาเข็มที่วัสดุสมมุติแบบลอย เสนอโดย Poulos และ Davis (1968) กับข้อมูลการทรุดตัวในสนาม ของจังหวัดตะกอน การประปาภูมิภาค

PROJECT : GLAXO

LOCATION : PHA - PRA - DANG



รูปที่ 4.6 แสดงการจัดวางฐานราก น้ำหนักกระทำเสาเข็มคอกลม และ ปริมาณเสาเข็มในฐานรากของอาคารโรงงาน สระประแดง

ชั้นดิน ในบริเวณซึ่งคาดว่าสภาพดินเดิมที่ไม่มีการถมทรายเพื่อปรับระดับ ซึ่งห่างจากตัวอาคาร โรงงานประมาณ 25.00 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ตัวอย่างดินแบบไม่ถูกรบกวนในชั้นดินเหนียวอ่อน และดินเหนียวแข็ง ได้ถูกนำมาทดสอบการอัดตัวคายน้ำ และคุณสมบัติพื้นฐานต่าง ๆ ดังได้กล่าวไว้โดยละเอียดในหัวข้อที่ 4.1.2 ส่วนลักษณะสภาพชั้นดินเจลลี่ และคุณสมบัติในการยุบอัดตัวของชั้นดินที่ปลายเสาเข็มได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.9

2. ข้อมูลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มในสนาม การทดสอบเสาเข็มกระทำตามมาตรฐาน Building laws of the city of New York ผลการทดสอบแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำเสาเข็มในการแนวแกน กับค่าการทรุดตัว ใต้เสาเข็ม ในรูปที่ 4.7 Poulos และ Davis (1980) แนะนำให้ใช้ค่า E_s ที่ได้จากการคำนวณกลับจากผลการทดสอบเสาเข็ม ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

ก. หาค่า E_s จากสมการที่ (2.15) สำหรับเสาเข็มคาล เมื่อทราบค่าการทรุดตัวของเสาเข็มในช่วงน้ำหนักกระทำบนเสาเข็มจริงในการใช้งาน ซึ่งค่าการทรุดตัวนี้จะต้องปรับแก้ เนื่องจากผลกระทบของเสาเข็มสมอ จากสมการที่ (2.24) ค่าที่ได้จะอยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่าง E_s กับ R_k และ R_b

ข. หาค่า E_s ในรูปความสัมพันธ์กับค่า k จากสมการ

$$E_s = \frac{E_p \cdot R_A}{K}$$

ค. นำความสัมพันธ์ที่ได้จากข้อ ก และ ข มาหาค่า E_s และ k โดยวิธี Trial error ซึ่งค่า E_s และ k ที่ได้จะเป็นพฤติกรรมรวมระหว่างดินกับเสาเข็มในเสาเข็มเดี่ยว

จากผลการทดสอบเสาเข็ม ขนาด 0.25×0.25 เมตร ความยาวเสาเข็ม 18.5 เมตร ในบริเวณก่อสร้างอาคารโรงงานผลิตยา ดังแสดงในรูปที่ 4.7 สามารถหาค่า E_s เท่ากับ 3935 ตันต่อตร.ม. และค่า k เท่ากับ 500

3. ข้อมูลการวัดค่าการทรุดตัวของอาคารโรงงาน พระประแดง การวัดค่าการทรุดตัวของอาคารได้เริ่มกระทำเมื่อ เดือนกรกฎาคม 2514 จุดที่ทำการวัดคือที่เสา โขยรอบของตัวอาคารโรงงาน โขยนำไม้บรรทัดเหล็กติดไว้ที่เสาแต่ละต้น การวัดทำด้วยวิธี Levelling

ตารางที่ 4.9 ลักษณะสภาพชั้นดินโดยเฉลี่ย และคุณสมบัติการยุบตัวของชั้นดิน
ไต่ปลายเสาเข็ม อาคารโรงงาน พระประแดง

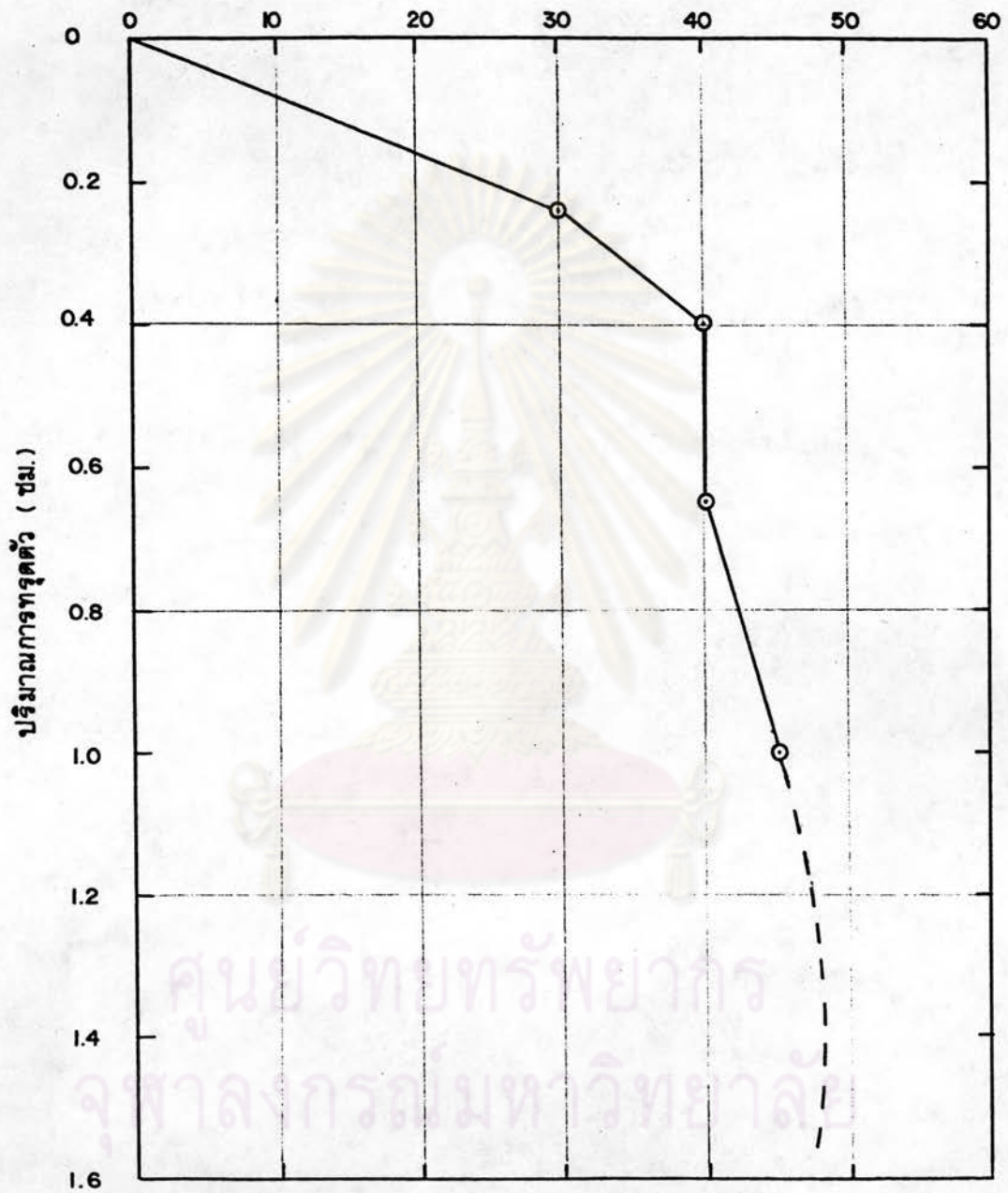
ชั้นที่	ความลึกจากผิว ดินถม (เมตร)	$\frac{1}{mv}$ ตัน/ตร.ม.	E_u (1) ตัน/ตร.ม.	E_s (2) ตัน/ตร.ม.
1	17.80-19.00	769	659	571
2	19.00-20.50	770	660	572
3	20.50-22.00	1177	1008	874
4	22.00-23.50	1304	1118	969
5	23.50-25.00	1486	1273	1104
6	25.00-26.50	1667	1429	1238

(1) E_u คือ โมดูลัสยืดหยุ่นแบบไม่ระบายน้ำ หาได้จากสมการที่ (2.5)

(2) โมดูลัสยืดหยุ่นแบบระบายน้ำ (E'_s) = $0.728 \times \frac{1}{mv}$ สำหรับอัตราส่วน
ปัวซองแบบระบายน้ำ เท่ากับ 0.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

น้ำหนักกระทำบนเสาเข็มตลอด (ตัน)



รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบเสาเข็ม ขนาด 0.25×0.25 เมตร
ความยาวเสาเข็มเท่ากับ 18.5 เมตร ในบริเวณก่อสร้าง
อาคารโรงงาน พระประแดง

เทียบระดับกับหมุดอ้างอิง (BM-1) ซึ่งตั้งอยู่ที่แท่นยึดหัวเสาเข็มของ Gantry Support (ดูตำแหน่งรูปที่ 4.6) ซึ่งมีฐานรากแบบเสาเข็มความยาว 21.00 เมตร จำนวน 2 ต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ถ้าการทรุดตัวของอาคารโรงงาน ไขแสงวงไว้ในตารางที่ 4.10

4. ข้อมูลความคืบหน้าในโพรงดิน AIT (1981) พบว่าเนื่องจากการสูบน้ำบาดาลจากชั้นทรายที่อยู่ลึกขึ้นมาใช้ ทำให้ความคืบหน้าในโพรงดินลดลงในบริเวณที่ทำการศึกษาค้นคว้าตามโรงงานต่าง ๆ ไขแสงวงได้ทำการสูบน้ำบาดาลมาใช้ แต่ไม่มีข้อมูลของความคืบหน้าในโพรงดินที่ลดลงในบริเวณโรงงาน ดังนั้นผู้เขียนจึงใช้ข้อมูลความคืบหน้าในโพรงดินที่ลดลงของจุดสำรวจป้อมพระจุล ซึ่งสถาบัน AIT ได้ทำไว้ห่างจากบริเวณที่ทำการศึกษาระยะ 6.0 กิโลเมตร เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าหน่วยแรงประสิทธิผลเริ่มแรก ให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด รูปที่ 4.8 แสดงค่าความคืบหน้าในโพรงดิน บริเวณป้อมพระจุลที่ลดลง เนื่องจากการสูบน้ำบาดาล การผิดพลาดในการคาดคะเนความคืบหน้าในโพรงดิน ทำให้คาดคะเนการทรุดตัวของดินที่ปลายเสาเข็มผิดไปบ้าง

5. เนื่องจากรูปร่างแบบเสาเข็ม ของอาคารโรงงานผลิตยา เป็นเสาเข็มที่ตอกผ่านชั้นดินเหนียวอ่อน และฝังตัวอยู่ชั้นดินเหนียวแข็ง การที่มีการถมทรายเพื่อปรับระดับบริเวณก่อสร้างอาคาร ซึ่งทำให้เกิดการอัดตัวคายน้ำของชั้นดินเหนียวอ่อน เนื่องจากรูปร่างหน้าของทรายเป็นและอาจทำให้เกิดแรงดูดลงในเสาเข็มได้ เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าการถมทรายจะทำให้เกิดแรงดูดลงในเสาเข็มหรือไม่ จำเป็นที่จะต้องทราบอัตราการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อน เปรียบเทียบกับอัตราการทรุดตัวของเสาเข็ม และถ้าอัตราการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อนมากกว่า อัตราการทรุดตัวของเสาเข็ม ก็จะเกิดแรงดูดลงในเสาเข็มเนื่องจากเกิดแรงเสียดทานในทางลบ และอัตราการเพิ่มขึ้นของแรงดูดลงในเสาเข็ม จะขึ้นอยู่กับอัตราการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อน

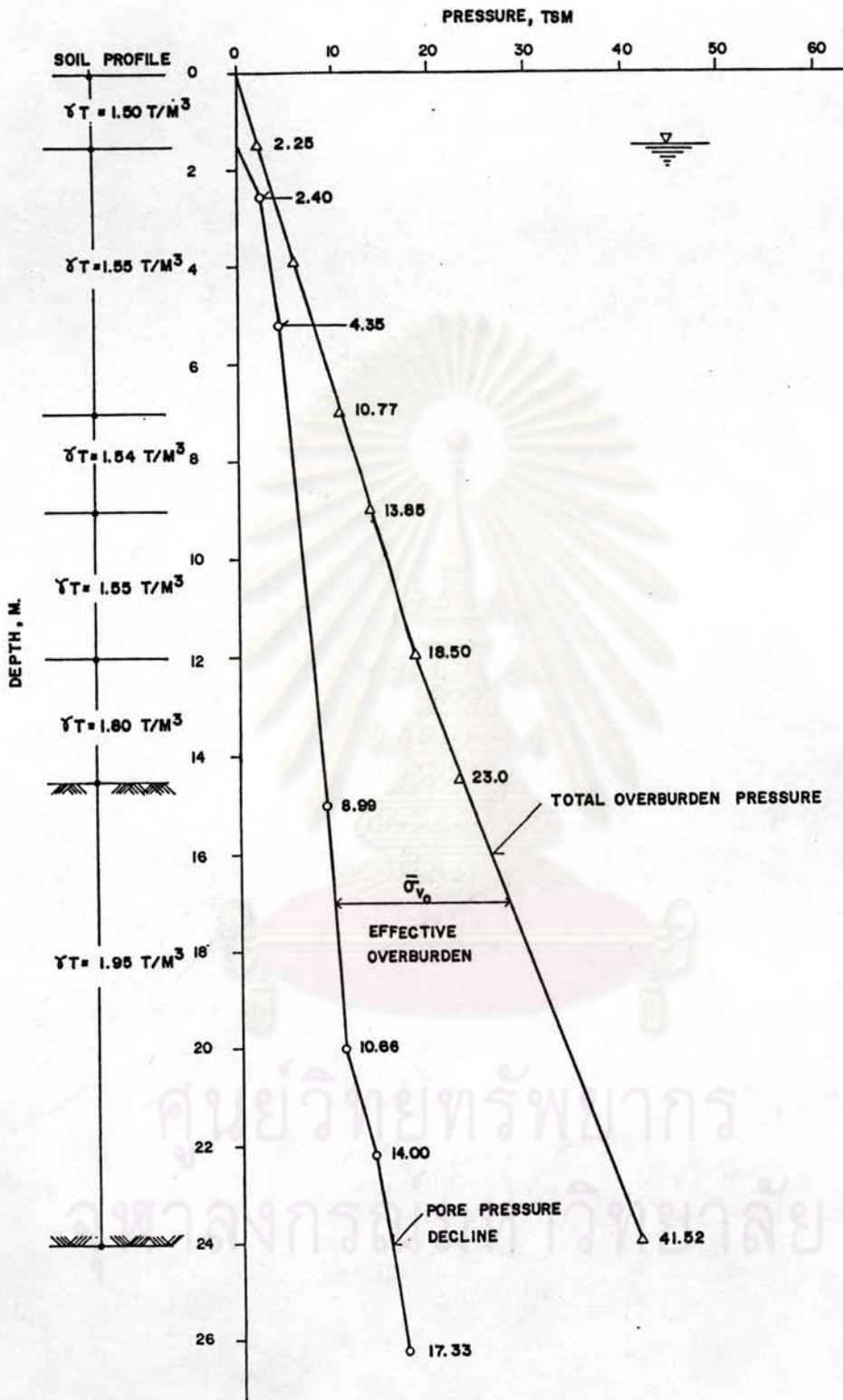
การวิเคราะห์อัตราการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อนเนื่องจากดินถม จำเป็นต้องใช้ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำ (c_v) ของดินเหนียวอ่อนและวิธีของ Asaoka (1978) เป็นวิธีที่ให้ค่า c_v ใกล้เคียงความจริงที่สุด (สรุจัตร์ ,2527) ซึ่งวิธีนี้จำเป็นต้องใช้ข้อมูลการทรุดตัวในสนามจริง ที่เกิดขึ้นแล้วบางส่วน เนื่องจากจุดที่ทำการวิจัยนี้ไม่มีข้อมูลการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อนในสนามจริง เพื่อหาค่า c_v ในสนาม ดังนั้นผู้เขียนจึงใช้ข้อมูลการทรุดตัวของดินคันทางและคุณสมบัติของชั้นดินบริเวณ กรมอุตุนิยมวิทยา ป้อมพระจุล ซึ่ง Prebaharan (1979) ได้ทำการวิจัยและเก็บข้อมูลไว้นำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบหาค่า c_v และหาตัวปรับแก้ค่า c_v ให้ได้

PROJECT : GLAXO
LOCATION : PHA PRA DANG

TOTAL SETTLEMENT RELATIVE GANTRY SUPPORT. (CM)

YEAR	6.55	6.917	7.25	8.290	9.19	10.16	10.42	11.03	11.37	11.41	11.43	11.51	11.60	12.13	12.33	12.65	13.05	13.73	14.26
Elapsed Time (day)	2391	2525	2649	3026	3357	3708	3804	4026	4153	4164	4172	4202	4235	4429	4503	4617	4764	5014	5206
A-1	-	26.9	28.15	30.55	33.9	35.2	35.6	37.0	37.7	37.9	-	-	-	38.8	39.3	39.8	40.1	41.5	42.9
A-2	-	29.0	30.1	32.6	34.7	37.2	37.6	39.0	39.7	39.9	-	-	-	40.9	41.4	41.9	42.2	43.6	44.9
A-3	-	29.3	30.4	32.65	34.8	37.2	37.8	39.0	39.7	39.8	-	-	-	41.2	41.4	42.0	42.7	43.9	44.6
A-4	26.5	26.9	28.0	30.35	32.4	34.5	35.1	36.1	36.7	36.8	-	-	-	38.2	38.4	39.0	39.7	40.8	41.6
A-5	24.5	24.9	25.83	27.9	29.6	31.7	31.9	32.8	33.4	33.4	-	-	-	34.6	34.7	35.2	35.9	37.0	37.6
A-6	19.2	19.3	20.09	19.35	22.7	24.1	24.2	24.8	27.3	27.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B-1	24.8	25.95	26.9	28.95	30.9	33.1	33.7	34.7	35.3	35.4	-	-	-	36.5	36.9	37.3	37.5	38.5	40.2
B-6	17.5	18.35	18.4	19.95	20.5	21.5	21.9	22.4	22.8	22.8	-	-	-	23.5	23.5	23.8	24.1	24.9	24.8
C-1	22.2	23.25	24.0	25.83	27.6	29.5	30.0	30.9	31.5	31.6	-	-	-	32.5	32.8	33.2	33.3	34.2	35.8
C-6	15.8	16.35	16.48	17.35	18.10	18.9	19.3	19.5	19.7	19.8	-	-	-	20.3	20.2	20.6	20.9	21.5	21.1
D-1	19.7	20.6	21.2	22.5	24.2	26.0	26.4	27.1	27.5	27.7	-	-	-	28.4	28.6	29.0	29.1	29.8	31.1
D-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E-1	15.1	15.8	16.3	17.05	18.8	20.3	20.6	21.2	21.5	21.7	-	-	-	22.2	22.3	22.6	22.6	23.1	24.1
E-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 4.10 ผลการวัดการทรุดตัวของอาคารโรงงาน พระประแดง กรุงเทพฯ



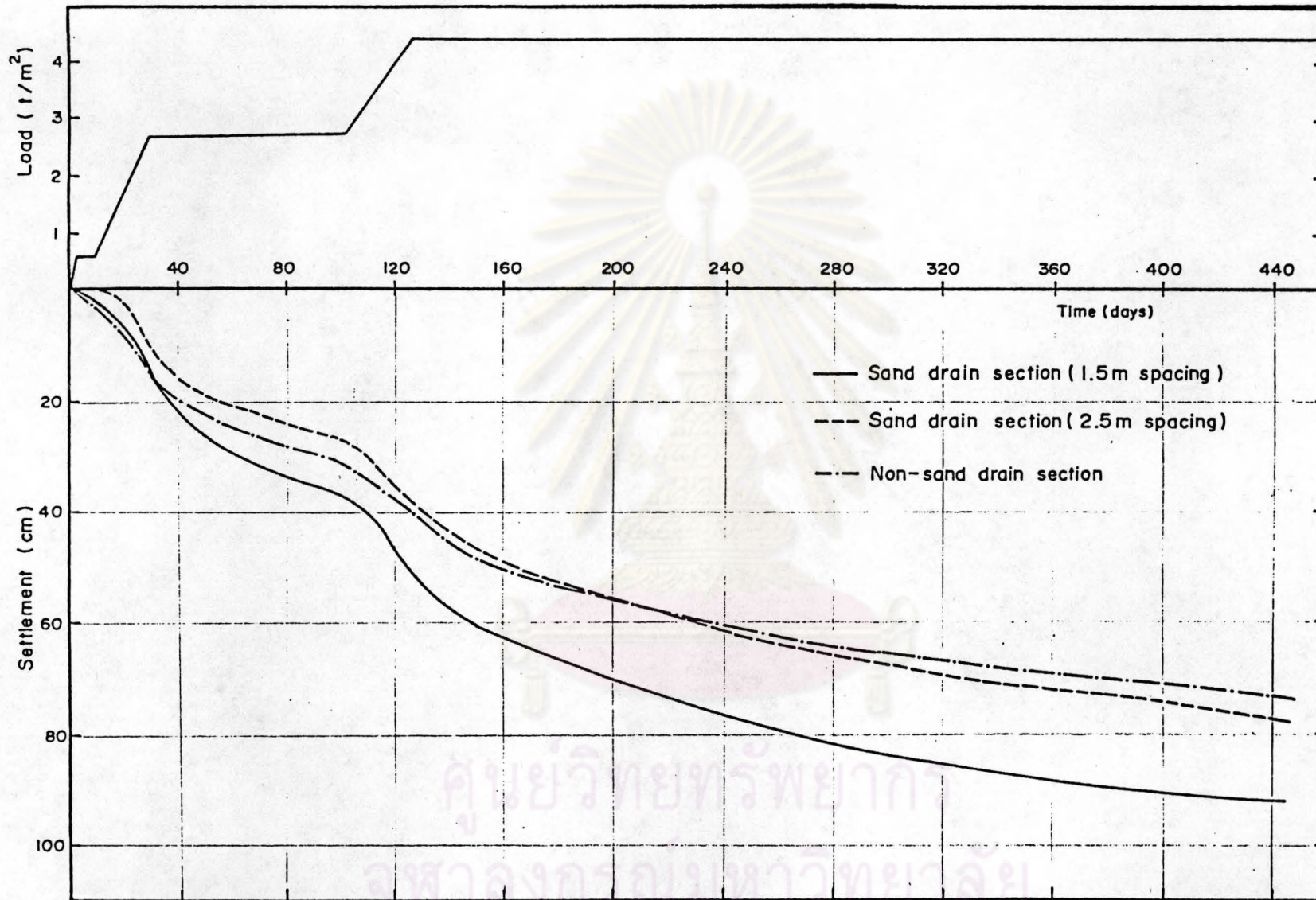
รูปที่ 4.8 ค่าความดันน้ำในโพรงดิน บริเวณป้อมพระจุล (AIT, 1981)

ตามระดับหน่วยแรง และประวัติของหน่วยแรงที่ถูกต้องและมีความเชื่อถือได้ การตรวจสอบการเกิดแรงจลในเสาเข็ม และการหาค่า c_v จะใช้ค่าลวโศยละเอียดคือไป รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเกณฑ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากการถมดินคันทางและระยะเวลา กับค่าการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อน บริเวณก่อสร้างกรมอุทการเรือ ป้อมพระจุล ส่วนลักษณะสภาพชั้นดินและสมบัติทางปฐพีกลศาสตร์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.10

4.3.3 การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารโรงงาน พระประแดง กรุงเทพฯ

ผลการสำรวจวัดค่าการทรุดตัวของอาคารโรงงาน ในตารางที่ 4.10 จะสังเกตเห็นว่า ค่าการทรุดตัวในแต่ละจุดทำการสำรวจมีปริมาณมาก (20 ถึง 45 ซม.) ทั้ง ๆ ที่เป็นฐานรากขนาดเล็ก และปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็ง จากการประมาณค่าการทรุดตัวของฐานราก A-2 และ E-1 (รูปที่ 4.6) ซึ่งนำหนักจากโครงสร้างและน้ำหนักบรรทุกจรที่ถ่ายลงเสาเข็มของแต่ละฐานราก เท่ากับ 23 ตันต่อต้น และ 17 ตันต่อต้น ตามลำดับ โดยวิธีประมาณค่าการทรุดตัวปฐพีกลศาสตร์พื้นฐานของ Terzaghi พบว่าจะให้ค่าการทรุดตัวของฐานราก A-2 เท่ากับ 14.78 ซม. และฐานราก E-1 เท่ากับ 11.05 ซม. ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่วัดได้ในสนามมาก (44.90 ซม. และ 24.10 ซม. ตามลำดับ) ดังนั้นจึงคาดคิดว่าจะต้องมีสาเหตุบางอย่างที่ทำให้น้ำหนักที่กระทำต่อเสาเข็มเพิ่มขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดการทรุดตัวที่มากผิดปกติ โดยจะใช้ค่าลวถึงรายละเอียดของสาเหตุที่ทำให้เกิดแรงที่กระทำต่อเสาเข็มเพิ่มขึ้นดังนี้

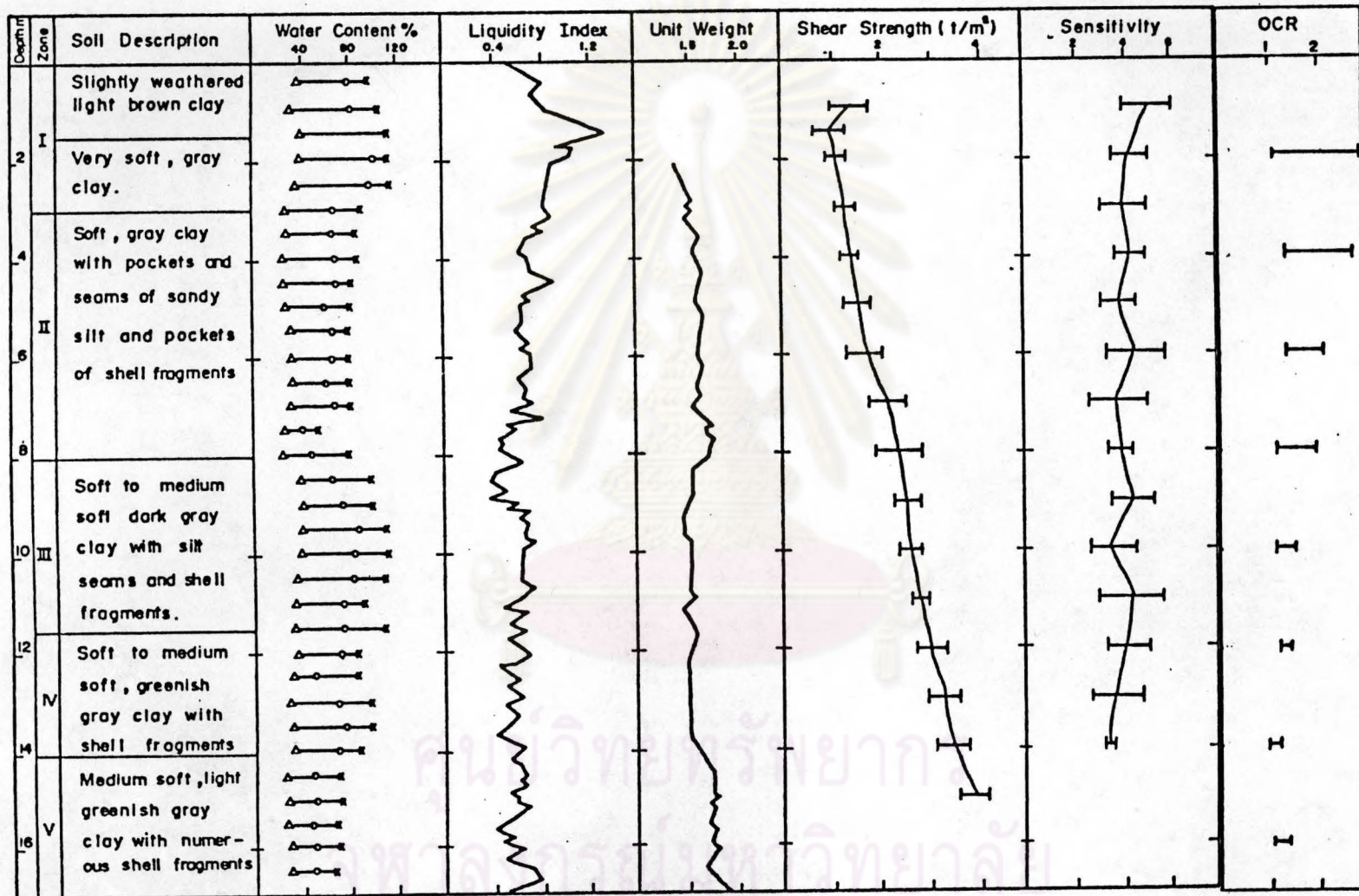
จากการประมาณค่าการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อน โดยวิธีปฐพีกลศาสตร์พื้นฐาน ของ Terzaghi อาศัยทฤษฎีการอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ พบว่าทรายถม 1.5 เมตร จะให้ค่าการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำทั้งหมดประมาณ 48.97 ซม. ส่วนการวิเคราะห์อัตราการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อนสามารถหาได้จาก ลักษณะของการระบายน้ำ จากข้อมูลความดันน้ำในโพรงที่ AIT (1981) ทำการสำรวจไว้พบว่าความดันน้ำในโพรงดินมีค่าลดลง เนื่องจกผลของการสูบน้ำบาดาลในบริเวณดังกล่าว ดังนั้นลักษณะของการระบายน้ำ เมื่อชั้นดินเหนียวอ่อนไ้รับหน่วยแรงภายนอก มากกระทำจะมีลักษณะของการระบายน้ำแบบ 2 ทิศทาง ดังนั้นความยาวของเส้นทางระบายน้ำ คือ ครึ่งหนึ่งของความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.00 เมตร ส่วนวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำ (c_v) ของชั้นดินเหนียวอ่อน บริเวณโรงงานมีลำดับขั้นตอน ดังต่อไปนี้



Surface Settlement Variation with Time (Observed)

รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการทรุดตัวกับระยะเวลา ของดินก้นทางบริเวณ กรมอุทการเรือ ป้อมพระจุล





Geotechnical Properties I

รูปที่ 4.10 ลักษณะชั้นดิน และคุณสมบัติทางปฐพีกลศาสตร์ กรมอุทกหารเรือ ป้อมพระจุล

1. จากข้อมูลการทรุดตัวในสนาม ของดินคันทางบริเวณกรมอุทการเรือ ป้อมพระจุล สามารถนำมาหาค่า C_v โดยวิธีของ Asaoka (1978) ซึ่งจะให้ค่า C_v (Asaoka) = 367 ซม²/วัน

2. จากค่า $C_{v(lab)}$ ที่ได้จากการทดลองด้วยเครื่อง Oedometer บริเวณกรมอุทการเรือ ป้อมพระจุล ที่ระดับ OCR ต่าง ๆ สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน C_v (Asaoka)/ $C_{v(lab)}$ ที่ระดับ OCR ต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.11

3. สามารถหาค่า C_v (field) ของบริเวณโรงงานได้โดยใช้ค่า $C_{v(lab)}$ ที่ได้จากการทดลอง Consolidation ตัวอย่างไม่ถูกรบกวนของดินที่เก็บมาจาก หลุมเจาะที่ BH-1 บริเวณโรงงานผลิตยาที่ระดับ OCR ต่าง ๆ (ดังแสดงในรูป 4.12) นำมาเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน C_v (Asaoka)/ $C_{v(lab)}$ ในรูปที่ 4.11 ที่ระดับ OCR เดียวกัน

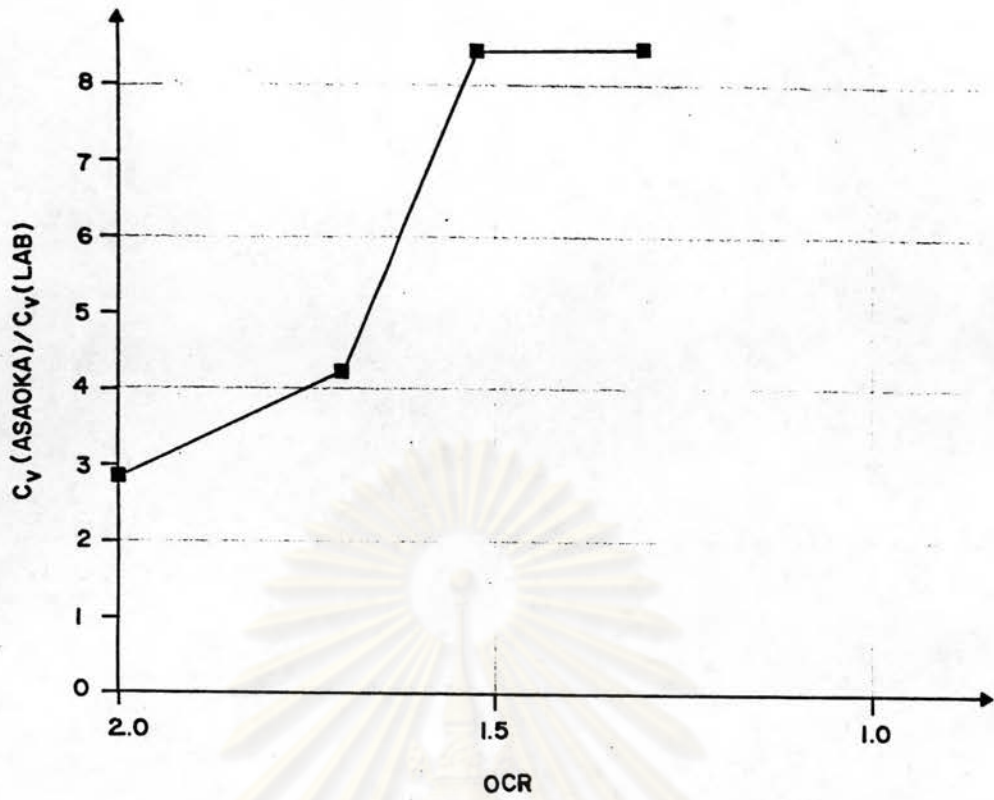
ผลการวิเคราะห์ปรากฏว่า ค่า C_v (field) โดยเฉลี่ยตลอดชั้นดินเหนียวอ่อนที่ระดับ OCR ต่าง ๆ บริเวณอาคารโรงงานผลิตยา ควรมีค่าเท่ากับ 256 ซม²/วัน

รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อน กับอัตราการทรุดตัวของฐานราก E-1 ที่วัดได้ ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า การทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อน เนื่องจากการถมทรายนั้นมีปริมาณค่าการทรุดตัว และอัตราการทรุดตัวมากกว่าการทรุดตัวของฐานรากเสาเข็ม ส่วนฐานราก A-2 อัตราการทรุดตัวมีมากกว่าการทรุดตัวของดินอ่อนหลังจาก 6 ปีลงไปแล้ว

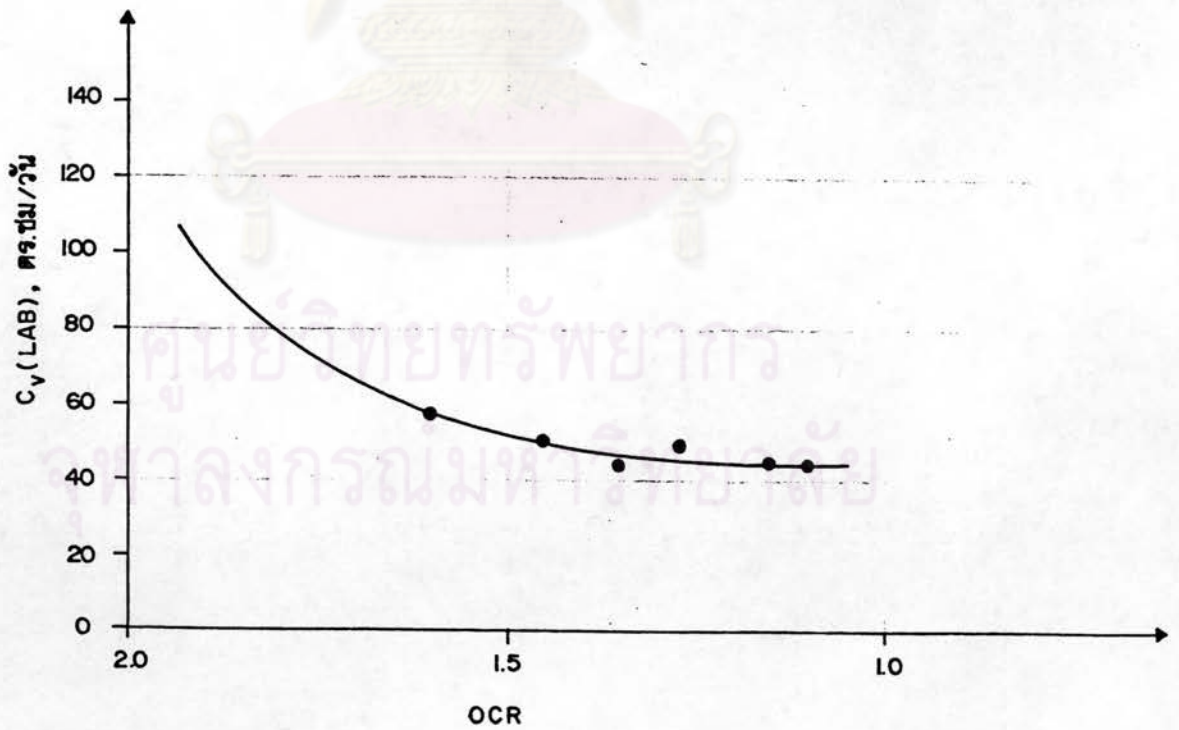
เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า เมื่ออัตราการเคลื่อนตัวของดินเหนียวอ่อน บริเวณรอบ ๆ เสาเข็มมากกว่าอัตราการเคลื่อนตัวของเสาเข็ม (ดูรูปที่ 4.13) จะเกิดแรงดูลงของเสาเข็ม เนื่องจากแรงเสียดทานในทางลบ โดยแรงเสียดทานดังกล่าวเกิดขึ้นในลักษณะตรงกันข้าม กับแรงต้านทานปกติ จึงทำให้น้ำหนักที่กระทำต่อเสาเข็มเพิ่มขึ้น ซึ่งไคกล่าวไว้โดยละเอียดในหัวข้อที่ 2.5

ก. การตรวจสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเมื่อเกิดแรงดูล

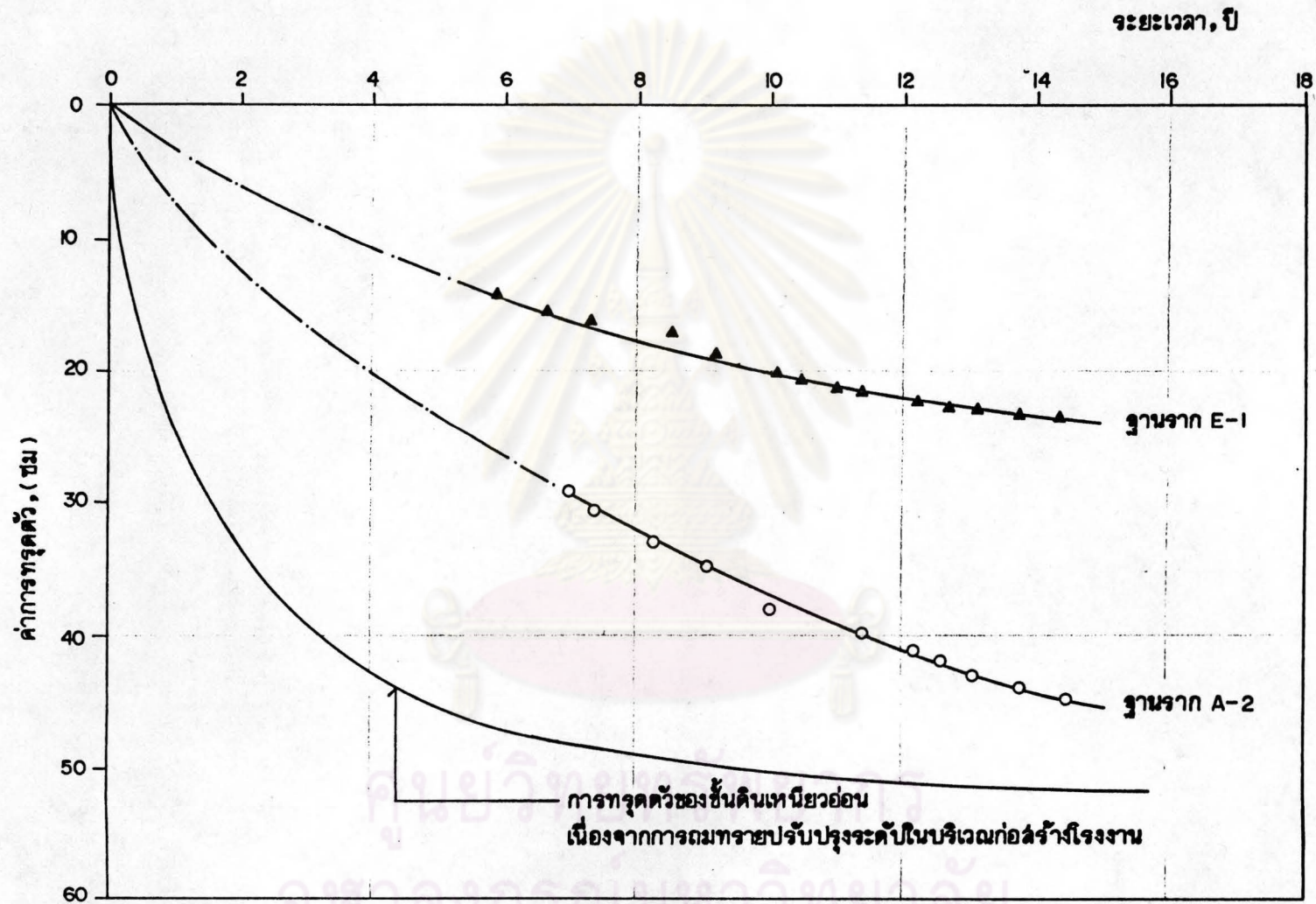
เมื่อเกิดแรงดูลเกิดขึ้นในฐานรากเสาเข็ม แรงดูลที่เกิดขึ้นนี้อาจมากพอที่จะทำให้เกิดการวิบัติของมวลดิน เนื่องจากแรงดูลหรือเกิดการทรุดตัวเกินพิกัด



รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $C_v(Asaoka)/C_v(lab)$ กับ OCR ของชั้นดินเหนียวอ่อน บริเวณกรมอุทกหารเรือ ป้อมพระจุล



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_v(lab)$ ที่ได้จากการทดลอง การอัดตัวกายน้ำ 1 มติ ของดินเหนียวอ่อน บริเวณอาคารโรงงาน พระประแดง กับ OCR



รูปที่ 4.13 แสดงค่าการทรุดตัว และอัตราการทรุดตัว ของชั้นดินเหนียวอ่อน กับอัตราการทรุดตัว
ของฐานราก A-2 และ E-1

การใช้งาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตรวจสอบแรงที่กระทำต่อเสาเข็ม เมื่อรวมแรงจุดลงในเสาเข็มแล้ว จะทำให้เกิดการวิบัติของมวลดินหรือไม่ ซึ่งจะทำการตรวจสอบทั้งในลักษณะที่เสาเข็มต้นเดี่ยว (Single pile) และ เสาเข็มกลุ่ม (Pile group) จากผลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มในสนามในรูปที่ 4.7 พบว่าเสาเข็มเดี่ยวสามารถรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดเท่ากับ 40 ตัน เมื่อใช้คุณสมบัติของชั้นดินที่ได้จากห้องปฏิบัติการ และลักษณะชั้นดิน ได้วิเคราะห์ความสามารถรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเข็มเดี่ยวและเสาเข็มกลุ่ม A-2 และ E-1 ซึ่งเป็นฐานรากที่ประกอบด้วยเสาเข็ม 4 ต้น ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.11 สำหรับการประมาณความสามารถรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเข็มกลุ่ม หากได้ใช้ข้อสมมุติฐานของ Terzaghi และ Peck (1967) โดยพิจารณาการวิบัติของเสาเข็มกลุ่มเกิดขึ้นเป็น Block ดังนั้นแรงต้านทานเนื่องจากแรงเสียดทานจะเกิดขึ้นโดยรอบกลุ่มของเสาเข็ม และจะมีค่าสูงสุดเมื่อ $f_s = S_u$ ($\alpha = 1.0$) ส่วนแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มสามารถหาได้โดยใช้พื้นที่ของ Block ซึ่งจะให้ค่าสูงสุด (Upper bound) ถ้าพิจารณาพื้นที่รับแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม เท่ากับพื้นที่เฉพาะเสาเข็มกลุ่มก็จะให้ค่าต่ำสุด (Lower bound)

ค่าของแรงจุดลงในลักษณะของเสาเข็มเดี่ยว และเสาเข็มกลุ่มหาได้จากสมการที่ (2.29) เมื่อใช้ $\beta = 0.25$ (Broms, 1978) จะได้ $f_{s_{neg}} = 33.55$ ตันต่อเมตร ผลการวิเคราะห์แรงจุดลงในเสาเข็มสูงสุด และเปรียบเทียบกับความสามารถรับน้ำหนักของเสาเข็มสูงสุดได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.12 จากข้อมูลการทรุดตัวของฐานราก และตารางเปรียบเทียบความสามารถรับน้ำหนักของเสาเข็ม (ตารางที่ 4.12) แสดงให้เห็นว่าลักษณะการวิบัติของฐานรากอาคารโรงงานเป็นแบบเสาเข็มกลุ่ม โดยใช้ข้อสมมุติฐานการวิบัติของเสาเข็มกลุ่มเกิดขึ้นเป็น Block ของ Terzaghi และ Peck (1967) จะเห็นว่าฐานราก E-1 มีพิกัดความปลอดภัย (Safety factor) ประมาณ 1.0 เมื่อพิจารณาผลของแรงจุดในลักษณะเสาเข็มกลุ่ม ส่วนมวลดินใต้และบริเวณเสาเข็มรอบ ๆ ฐานราก A-2 มีโอกาสไม่สามารถรับแรงทั้งหมด เมื่อรวมแรงจุดด้วย นั่นคือในกรณีฐานราก A-2 พิกัดความปลอดภัยมีโอกาสดำกว่า 1.0 เมื่อพิจารณา f_s เท่ากับค่าของเสาเข็มต้นเดี่ยว และจากลักษณะการทรุดตัวของข้อมูลการทรุดตัวของฐานรากโรงงาน (รูปที่ 4.13) แสดงให้เห็นว่าฐานราก A-2 เกิดการทรุดตัวที่ผิดปกติ ซึ่งเกิดการทรุดตัวแล้วประมาณ 45 ซม. และยังไม่ได้แสดงที่ว่าจะหยุดลง ในขณะที่การทรุดตัวของฐานราก E-1 เกิดขึ้นแล้วประมาณ 24 ซม. และมีแนวโน้มว่าจะหยุดการทรุดตัว ดังนั้นใน

	DESIGN PARAMETER		COMPONENT LOAD(TONS)		Ultimate pile load (Tons)
	Adhesion factor (α)	Nc	End-bearing	Skin friction	
Single pile	0.5	9	7.87	21.00	28.87
Pile Group (4 Piles)					
การวิบัติเกิดขึ้นเป็น Block พื้นที่รับแรงตามปลายเสา เข็มเท่ากับพื้นที่หน้าตัดของ Block	0.5	9	126.00	84.00	210.00
	(1.0)	(9)	(126.00)	(168.00)	(294.00)
การวิบัติเกิดขึ้นเป็น Block พื้นที่รับแรงตามปลายเสา เข็ม ถูกเฉาะพื้นที่ของ เสาเข็มเท่านั้น	0.5	9	31.50	84.00	115.50
	(1.0)	(9)	(31.50)	168.00	(199.5)

- หมายเหตุ 1. ค่าภายในวงเล็บหมายถึงเมื่อคิด f_s มีค่าเท่ากับ S_u ของดิน ($\alpha=1.0$)
2. กำหนดค่าหาค่า f_s ที่เส้นขอบเขตระหว่างชั้นดินเหนียวอ่อน และดินเหนียวแข็ง ดังนั้น แรงต้านทานเนื่องจากแรงเสียดทานที่ผิวคิดเฉพาะในชั้นดินเหนียวแข็ง
- ตารางที่ 4.11 แสดงผลการประมาณค่าความสามารถรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเข็มเดี่ยว และเสาเข็มกลุ่ม
ของฐานราก E-1 และ A-2

		DOWNDRAG FORCE (TONS)	TOTAL LOAD (TONS)	Ultimate pile load (TONS)
E-1 (17 Tons/ pile)	Single pile	33.55	50.55	28.87
	pile group	134.20	202.20	210.00* (294.00)
A-2 (23 Tons/ pile)	Single pile	33.55	56.55	28.87
	pile group	134.20	226.20	210.00* (294.00)

* การวิบัติของเสาเข็มกลุ่มเกิดขึ้นเป็น Block

() เมื่อกำหนดให้ $f_s = S_u$ ของดิน

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบแรงจุกลงในเสาเข็ม และแรงกระทำต่อเสาเข็มทั้งหมด ซึ่งรวมผลเนื่องจากการเกิดแรงจุกลงในเสาเข็ม กับค่าความสามารถรับน้ำหนักสูงสุดของฐานราก

การวิเคราะห์การทรุดตัวของฐานรากของอาคารโรงงาน จะกล่าวเฉพาะฐานราก E-1 เท่านั้น

ข. การประมาณค่าการทรุดตัวของฐานราก E-1 เมื่อรวมแรงจุดลงในเสาเข็มโศยวิธีปฏิรูปกลศาสตร์พื้นฐาน

1. โศยวิธีปฏิรูปกลศาสตร์พื้นฐานของ Terzaghi

จากลักษณะฐานราก พิจารณาฐานรากเป็น Isolated footing ที่มีน้ำหนักกระทำต่อฐานราก เนื่องจากน้ำหนักของโครงสร้างและน้ำหนักจร เท่ากับ 68 ตัน และเกิดแรงจุดลงสูงสุดสำหรับเสาเข็มกลุ่ม เท่ากับ 134.20 ตัน รวมเป็นน้ำหนักกระทำต่อฐานรากทั้งหมด 202.20 ตัน

จากสภาพชั้นดิน พบว่าฐานรากเสาเข็มฝังตัวอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็ง 3.50 เมตร และสมมุติให้น้ำหนักทั้งหมดกระทำบนฐานรากแบบสมมุติ ที่ระดับความลึก 2 ใน 3 ของความยาวเสาเข็มที่ฝังตัวอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็ง และกระจายหน่วยแรงออกจากฐานรากแบบสมมุติ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (c) การทรุดตัวแบบอัดตัวคายนน้ำ สามารถหาได้จากสมการที่ (2.12)

ผลการประมาณค่าการทรุดตัวแบบอัดตัวคายนน้ำทั้งหมด (p_{cf}) ของชั้นดินเหนียวแข็งได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.13 ซึ่งมีค่า p_{cf} เท่ากับ 25.517 ซม.

2. โศยวิธีปฏิรูปกลศาสตร์พื้นฐานของ Tomlinson

พิจารณาให้ฐานรากแบบสมมุติอยู่ชั้นดินเหนียวแข็ง (17.80 ม. จากผิวดิน) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (b) ค่าการทรุดตัวของฐานรากของอาคารโรงงาน ประกอบด้วยการทรุดตัว 2 ส่วน คือการทรุดตัวทันที และการทรุดตัวแบบอัดตัวคายนน้ำ

การทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก หาได้โดยใช้สมการที่ (2.11) และใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของดิน ในสภาพไม่ระบายน้ำ ซึ่งสามารถหาได้จาก ผลการทดลองการอัดตัวคายนน้ำ และอาศัยสมการที่ (2.5) และ (2.6) โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดชั้นดินเหนียวแข็งเท่ากับ 1024 ตันต่อตารางเมตร

การทรุดตัวแบบอัดตัวคายนน้ำ สามารถหาได้จากทฤษฎีการอัดตัวคายนน้ำของ Terzaghi โดยใช้สมการที่ (2.12) และกระจายหน่วยแรงเกินที่เพิ่มขึ้นจากฐานรากสมมุติ

แบบยืดหยุ่น โยววิธ Elasticity และมีตัวปรับแก้ Fox's correction factor (μ_d) และ Geological factor (μ_g) ผลสรุปการคำนวณค่าการทรุดตัวของฐานราก E-1 อาคารโรงงานผลิตยา โยววิธปฏิภนศาสตร์พื้นฐานของ Tomlinson ใต้แสดงไว้ในตารางที่ 4.13 ซึ่งให้ค่าการทรุดตัวสุดท้ายเพียง 15 ซม.

ก. การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารโรงงาน พระประแดง โยววิธ Modified Theory of Elasticity ของ Poulos และ Davis

การคำนวณกลับจากผลการทดสอบเสาเข็ม ค่าโมดูลัสสัมผัสของดินรอบเสาเข็ม (E_s) เท่ากับ 3935 ตันต่อตารางเมตร และค่า K เท่ากับ 500 การทรุดตัวในชั้น Founding layers (p_{fd}) สามารถหาได้โดยพิจารณาเสาเข็มเดี่ยวในฐานราก E-1 หากค่าการทรุดตัว p_{fd} สำหรับเสาเข็มเดี่ยวที่มีปลายอยู่ในดินเหนียวแข็ง โยววิธสมการที่ (2.15) และหากค่าการทรุดตัวที่เพิ่มขึ้น เมื่อได้รับผลกระทบจากเสาเข็มข้างเคียงภายในฐานราก โยววิธสมการที่ (2.19) และ (2.21) ดังนั้นการทรุดตัวของตัวของฐานราก E-1 ซึ่งยังไม่ได้อิงพิจารณาผลกระทบจากฐานรากใกล้เคียงเท่ากับ 90% ของค่าการทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยวที่เลือกพิจารณา ซึ่งรวมผลกระทบจากเสาเข็มข้างเคียงภายในฐานรากเดียวกัน

ค่าการทรุดตัว p_{fd} ของฐานราก E-1 ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากผลกระทบของฐานรากใกล้เคียง สามารถหาได้โดยพิจารณาฐานรากทั้งระบบของอาคารโรงงาน ซึ่งประกอบด้วยฐานรากเสาเข็มกลุ่ม ซึ่งแต่ละกลุ่มของเสาเข็มจะถูกพิจารณาเป็นเสาเข็มเดี่ยวสมมุติ โดยมีความยาวของเสาเข็มเท่าเดิม แต่มีเส้นผ่าศูนย์กลางแบบสมมุติ ซึ่งสามารถประมาณได้จากรูปที่ 2.19 พิจารณาเสาเข็มเดี่ยวแบบสมมุติของฐานราก E-1 และหากค่าการทรุดตัวที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากผลกระทบของเสาเข็มเดี่ยวสมมุติของฐานรากใกล้เคียงทั้งระบบฐานรากของอาคารโรงงาน ดังนั้นค่าการทรุดตัวของ Founding layers (p_{fd}) ทั้งหมดเท่ากับค่าการทรุดตัวของฐานราก E-1 รวมกับ ค่าการทรุดตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลกระทบของฐานรากใกล้เคียง

ส่วนการทรุดตัวของชั้นดินใต้ปลายเสาเข็ม (Underlying layers, p_{ud}) สามารถหาได้โดยการพิจารณาระบบฐานราก ให้เป็นระบบฐานรากสมมุติ ซึ่งฐานรากเสาเข็มแต่ละกลุ่มจะถูกพิจารณาให้เป็นเสาเข็มเดี่ยวสมมุติขนาดใหญ่ ค่าการทรุดตัว p_{ud} สามารถหาได้โดยโยววิธสมการที่ (2.23) และอาศัยวิธี Superimpose เพื่อรวมผลของค่าการทรุดตัวของชั้นดินใต้ปลายเสาเข็ม เนื่องจากเสาเข็มเดี่ยวสมมุติของฐานรากใกล้เคียง

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบการคำนวณค่าการทรุดตัวของ

Terzaghi และ Tomlinson อาคารโรงงาน พระประแดง (ฐานราก E-1)

ชั้นที่	วิธีการของ Terzaghi	วิธีการของ Tomlinson	
	ค่าการทรุดตัวของแบบอค์ตัวค้ำยันน้ำ (p_c)	ชม. ค่าการทรุดตัวของแบบอค์ตัวค้ำยันน้ำ (P_c)	ชม. ค่าการทรุดตัวของชั้นที่รับน้ำหนัก (P_i)
1	17.300	5.182	7.926
2	5.408	1.321	
3	1.461	0.345	
4	0.715	0.111	
5	0.393	0.058	
6	0.240	0.017	

ค่าการทรุดตัวรวม (p_{CF}) โดยวิธีของ Terzaghi เท่ากับ 25.517 เซนติเมตร

ค่าการทรุดตัวรวม ($p_c + p_i$) โดยวิธีของ Tomlinson เท่ากับ 14.960 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวของ

ของอาคารโรงงาน พระประแดง (ฐานราก E-1) โดยวิธี Modified Theory of elasticity

ฐานรากที่	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น และมวลค้ำยัน (ตัน/ตร.ม.)	ค่า pile Stiffness	P_{fd} , ชม.		P_{ud} , ชม.		ค่าการทรุดตัวของ ตัวเสาเข็มเนื่อง จากแรงกดลงใน เสาเข็ม (P_{FST} , ชม.)
			DL+LL	NF	DL+LL	NF	
	3935	500	9.338	18.430	1.082	2.137	0.26
ค่าการทรุดตัวทั้งหมด (P_{TF}) = 31.247 ชม.							

จากการวิเคราะห์น้ำหนักกระทำต่อฐานราก E-1 พบว่าน้ำหนักกระทำต่อฐานราก เนื่องจากน้ำหนักของโครงสร้างและน้ำหนักบรรทุกจรเท่ากับ 68 ตัน ซึ่งทำให้เกิดการทรุดตัวใน Founding layers เท่ากับ 9.338 ซม. และเกิดการทรุดตัวใน Underlying layers เท่ากับ 1.082 ซม. โดยพิจารณาผลกระทบเนื่องจากฐานรากใกล้เคียงทั้งระบบ การทรุดตัวทั้งหมดซึ่งเท่ากับ 10.4 ซม. เมื่อเปรียบเทียบกับ 11.05 ซม. โดยวิธีปฏิรูปกลศาสตร์พื้นฐานของ Terzaghi

ส่วนน้ำหนักที่กระทำต่อเสาเข็มที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดแรงจุดลงในเสาเข็มสามารถหาได้จากสมการที่ (2.31) และ (2.32) ซึ่งมีรากฐานมาจากข้อสมมุติฐานของ Terzaghi และ Peck (1967) โดยแนะนำให้ใช้ค่า $k_s \tan \phi' = 0.25$ สำหรับ Normally Consolidated Clay ผลการวิเคราะห์แรงจุดลงในเสาเข็มสูงสุด เมื่อพิจารณาผลของแรงจุดในลักษณะเสาเข็มกลุ่มมีค่าเท่ากับ 134.20 ตัน ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการทรุดใน Founding layers เท่ากับ 18.430 ซม. และเกิดการทรุดตัวของ Underlying layers เท่ากับ 2.137 ซม. โดยในการวิเคราะห์การทรุดตัวได้คำนึงถึงผลกระทบจากฐานรากใกล้เคียงทั้งหมด นอกจากนี้ยังได้พิจารณาค่าการทรุดตัวของเสาเข็มเอง เนื่องจากแรงจุดลงในเสาเข็ม จากสมการที่ (2.34) โดยสมมุติให้โมดูลัสยืดหยุ่นของเสาเข็ม (E_p) มีค่าเท่ากับ 2×10^6 ตันต่อตารางเมตร

ผลการคำนวณการทรุดตัว โดยวิธี Modified Theory of Elasticity ให้ค่าการทรุดตัวสุดท้ายเท่ากับ 31 ซม. เมื่อเปรียบเทียบกับ 26 ซม. โดยวิธีปฏิรูปกลศาสตร์พื้นฐานของ Terzaghi และ 15 ซม. โดยวิธีปฏิรูปกลศาสตร์พื้นฐานของ Tomlinson ขณะที่การทรุดตัวได้เกิดขึ้นแล้วประมาณ 24 ซม.

การคาดคะเนการทรุดตัวของ Poulos และ Davis จะ Conservative มากกว่าเนื่องจากได้พิจารณาพฤติกรรมของฐานรากเป็นแบบเสาเข็มเดี่ยว เมื่อพิจารณาพฤติกรรมของเสาเข็มกลุ่มที่เป็น Block แล้ว ปริมาณแรงจุดต่อฐานรากจะน้อยกว่าคิแบบเสาเข็มต้นเดี่ยว ส่วนวิธีของ Terzaghi พิจารณาพฤติกรรมของฐานรากเป็น Block อยู่แล้ว

4.3.4 อัตราการเกิดแรงจุดลงในเสาเข็ม และอัตราการทรุดตัวของอาคารโรงงาน

พระประแดง

ก. อัตราการเกิดแรงจูงลงในเสาเข็ม

เนื่องจากแรงจูงลงในเสาเข็มขึ้นอยู่กับเวลา ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราการเกิดการอัดตัวคายน้ำ ของชั้นดินเหนียวอ่อนเนื่องจากดินถม อัตราการเกิดการอัดตัวคายน้ำนี้จะขึ้นอยู่กับความดันน้ำในโพรงเพิ่ม และการกระจายไปของความดันน้ำในโพรงเพิ่ม (Dissipation of pore pressure) โดยใช้สัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำของชั้นดินเหนียวอ่อน ($C_v = 256 \text{ ซม.}^2/\text{วัน}$) ซึ่งมีลักษณะการระบายน้ำของชั้นดินเหนียวอ่อนแบบ 2 ทิศทาง ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.3.3 และเปอร์เซ็นต์การอัดตัวคายน้ำ โดยอาศัยทฤษฎีการอัดตัวคายน้ำ 1 มิติ ของ Terzaghi ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.14 ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การอัดตัวคายน้ำเนื่องจากทรายเป็นฟังก์ชันของเวลาที่ระดับความลึกต่าง ๆ ของชั้นดินเหนียวอ่อนได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.15 จากผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การอัดตัวคายน้ำ นำมาวิเคราะห์ค่าความดันน้ำในโพรงดินที่เวลาใด ๆ ซึ่งจะนำไปใช้ในการหาค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้งที่เพิ่มขึ้น กับระยะเวลา และจากสมการที่ (2.29) และ (2.30) สามารถหาค่าอัตราการเกิดแรงจูงลงในเสาเข็มได้ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.16 และในรูปที่ 4.15 แสดงอัตราการเกิดแรงที่กระทำต่อฐานราก E-1 ทั้งหมด ซึ่งเป็นผลรวมระหว่างน้ำหนักบรรทุกจากโครงสร้าง กับแรงจูงลงในเสาเข็ม

Poulos และ Davis (1972) เสนอวิธีการหาอัตราการเกิดแรงจูงลงในเสาเข็มสูงสุด ในกรณีที่เกิดการลื่นไถลเต็มที่ และลักษณะการระบายน้ำได้ 2 ทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ 2.28 (b) ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของ ระบายการเพิ่มขึ้นของแรงจูง (Un) และ Time factor โดยใช้สัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำของชั้นดินเหนียวอ่อน อัตราการเกิดแรงที่กระทำต่อฐานราก E-1 ทั้งหมด ซึ่งรวมถึงน้ำหนักจากโครงสร้าง และแรงจูงลงในเสาเข็มซึ่งเสนอแนะโดย Poulos และ Davis ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.16

การคำนวณอัตราการเกิดแรงจูงลงในเสาเข็ม ที่เสนอแนะโดย Poulos และ Davis (1972) เป็นการพิจารณาอัตราการเกิดแรงจูงลงในเสาเข็ม สำหรับเสาเข็มเดี่ยว ดังนั้นสำหรับฐานรากซึ่งมีพฤติกรรมแบบเสาเข็มกลุ่ม อัตราการเพิ่มและปริมาณของแรงจูงลงในเสาเข็มควรจะน้อยกว่านี้ เมื่อพิจารณาในชั้นดินเหนียวอ่อนที่มีค่า C_v เท่ากัน

ข. อัตราการทรุดตัวของฐานราก E-1 อาคารโรงงานผลิตยา

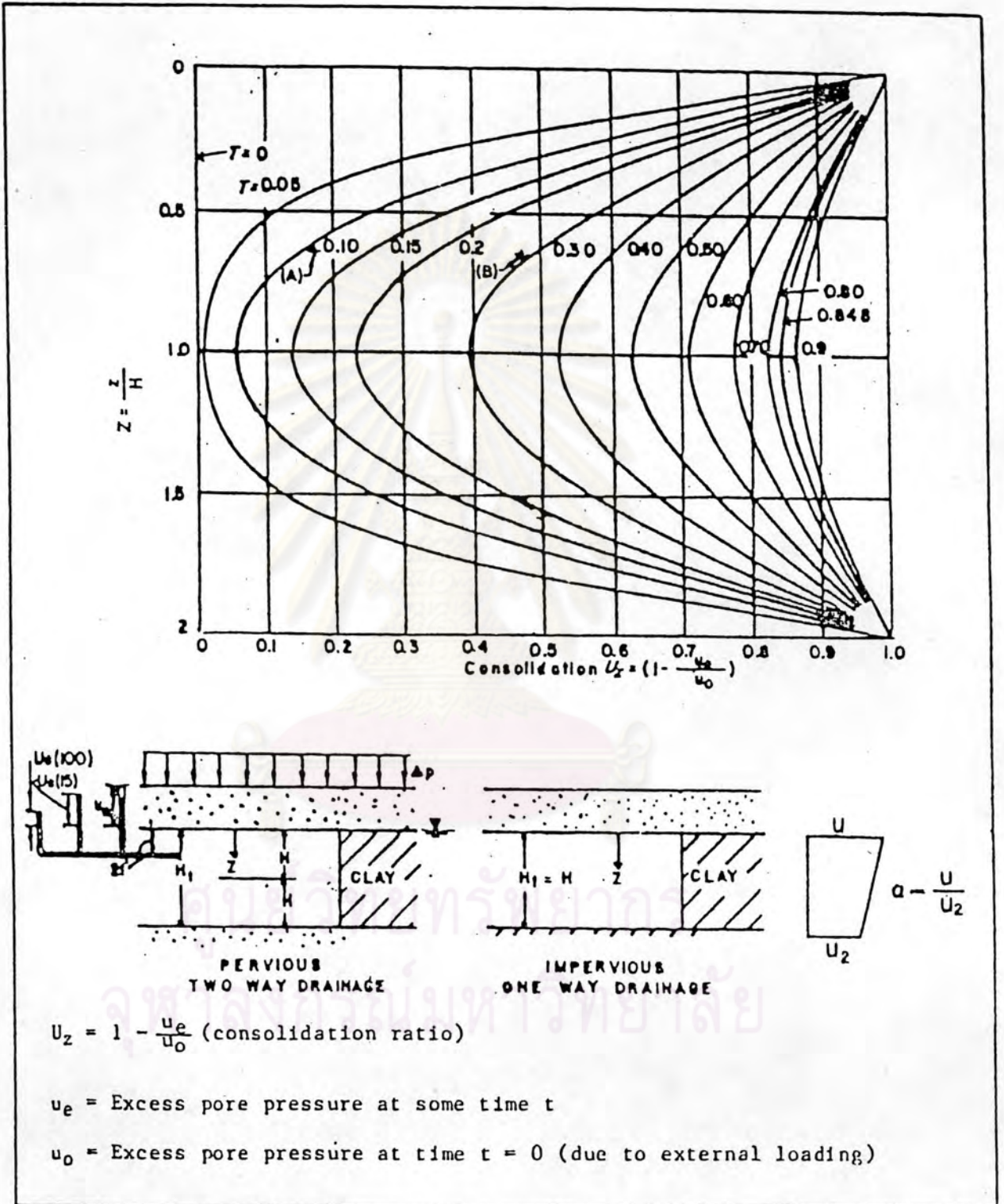


ตารางที่ 4.15 แสดงระดัการรัคควัคยน้ำ ของชั้นดินเหนียวอ่อน (u_z) เนื่องจากทรายนม
ที่ระดัความลึกต่าง ๆ

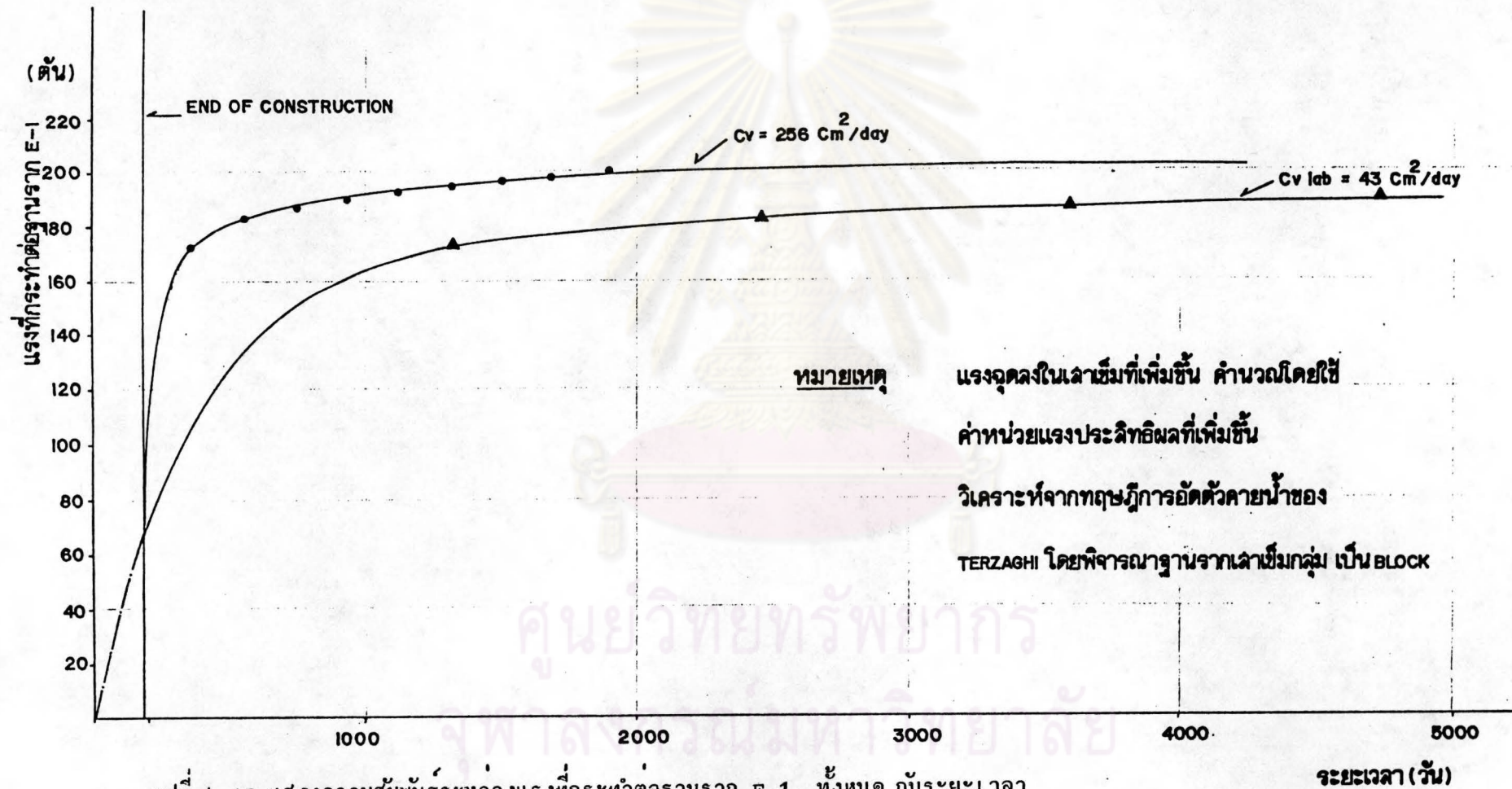
		ระดัการรัคควัคยน้ำ (u_z)								
TIME FACTOR		T=0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
ระยะเวลา, วัน		t=192	383	574	766	957	1149	1340	1531	1734
$Z=\frac{z}{H}$	0.1	0.840	0.900	0.920	0.930	0.950	0.96	0.970	0.975	0.980
	0.6	0.180	0.370	0.510	0.620	0.710	0.77	0.822	0.864	0.890
	1.0	0.060	0.240	0.402	0.535	0.635	0.720	0.780	0.830	0.870
	1.5	0.260	0.640	0.580	0.670	0.745	0.900	0.850	0.880	0.910
	1.9	0.840	0.900	0.920	0.930	0.950	0.960	0.970	0.975	0.980

ตารางที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง และแรงจุคลงในเสาเข็มที่
เพิ่มขึ้น กับระยะเวลา

		หน่วยแรงประสิทธิผลแนวตั้ง (σ_v) ต้นตอ ตร.ม.								
ระยะเวลา ความลึก (วัน) จากผิวดิน(ม.)		192	383	574	766	957	1149	1340	1531	1734
0.75		3.77	3.96	4.02	4.05	4.11	4.15	4.18	4.19	4.21
4.24		3.27	3.87	4.32	4.66	4.94	5.13	5.29	5.43	5.51
8.00		6.75	7.32	7.83	8.24	8.56	8.83	9.02	9.17	9.30
10.50		9.99	10.62	11.00	11.28	11.52	11.69	11.85	11.95	12.04
13.25		15.19	15.38	15.45	15.48	15.54	15.57	15.60	15.62	15.63
		แรงจุคลงในเสาเข็ม (NF) ต้น								
0.75		5.65	5.94	6.03	6.08	6.17	6.22	6.27	6.29	6.32
4.25		18.02	21.32	23.74	25.65	27.21	28.24	29.15	29.87	30.32
3.00		13.49	14.63	15.65	16.49	17.12	17.65	18.03	18.37	18.60
10.50		29.98	31.87	33.00	33.85	34.56	35.08	35.56	35.84	36.12
13.25		37.99	38.46	38.62	38.69	38.85	38.94	39.01	39.05	39.02
แรงจุคลงในเสา- เข็มรวม(P_{FS})		105.13	112.22	117.04	120.77	123.91	126.13	128.02	129.4	130.45



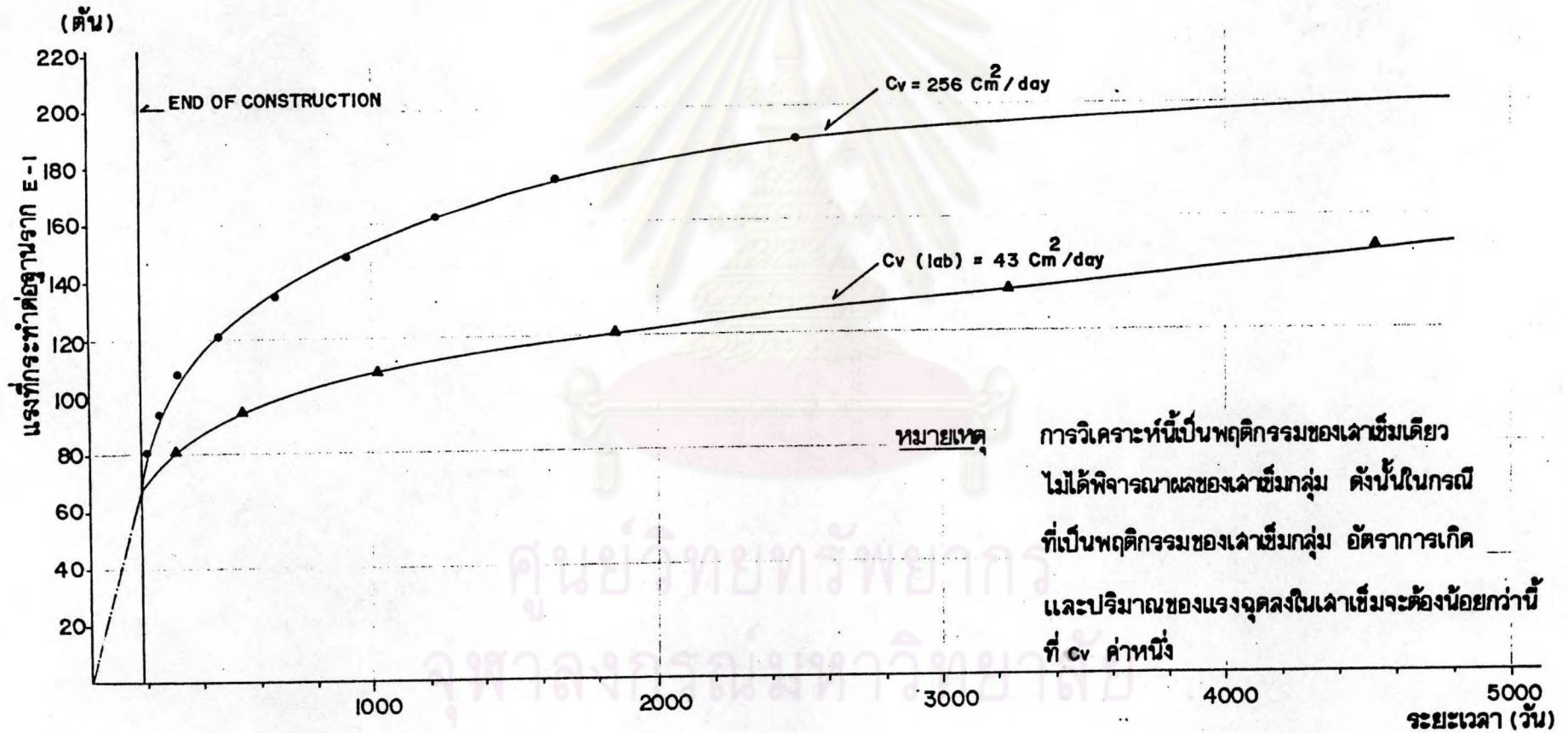
รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง \bar{U} , z/H และ T



รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อฐานราก E-1 ทั้งหมด กับระยะเวลา

โดยอาศัยทฤษฎีการอัดตัวคายน้ำ 1 มิติ ของ Terzaghi ของอาคารโรงงาน พระประแดง

UN (%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Tv	0.006	0.021	0.050	0.100	0.170	0.260	0.375	0.520	0.820
แรงที่กระทำต่อฐานราก E-1 (ตัน)	81.42	94.84	108.26	121.68	135.10	148.52	161.94	175.36	188.78



รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อฐานราก E-1 ทั้งหมด กับระยะเวลา เสนอแนะโดย Poulos และ Davis (1972) ของอาคารโรงงาน พระประแดง

ในการวิเคราะห์หัตถการทรุดตัวของฐานรากแบบเสาเข็ม เมื่อพิจารณาผลของแรงจุดลงในเสาเข็ม มีความยุ่งยากและซับซ้อน เนื่องจากแรงจุดลงในเสาเข็ม มีค่าไม่คงที่ โดยขึ้นอยู่กับ อัตราการเกิดการอัศจรรย์ตัวของชั้นดินเหนียวอ่อนเนื่องจากทรายนวม

ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้ตั้งสมมุติฐานว่า การทรุดตัวของฐานรากแบบเสาเข็ม เนื่องจากน้ำหนักจากโครงสร้างและน้ำหนักบรรทุกจะเกิดขึ้นในทันทีก่อนที่การทรุดตัว เนื่องจากแรงจุดลงในเสาเข็มจะเกิดขึ้น ส่วนการทรุดตัวของฐานรากเนื่องจากแรงจุดลงในเสาเข็มก็จะเกิดขึ้นทันทีที่แรงจุดลงในเสาเข็มเพิ่มขึ้น ปริมาณการเกิดแรงจุดลงในเสาเข็มขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดการอัศจรรย์ตัวของชั้นดินเหนียวอ่อน

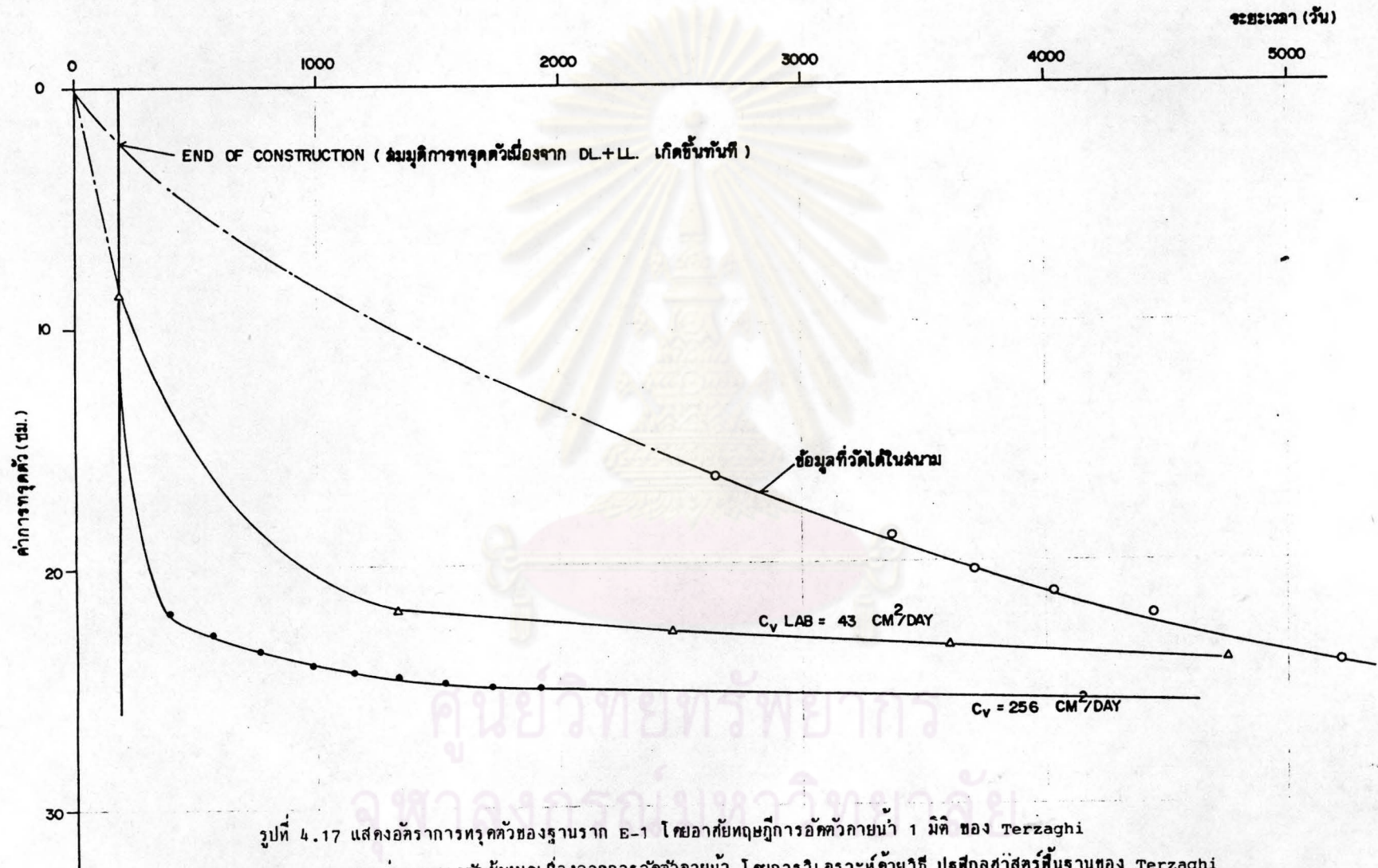
ผลของการวิเคราะห์หัตถการทรุดตัวของฐานราก E-1 โดยอาศัยอัตราการเกิดแรงจุดลงในเสาเข็มที่ใช้ทฤษฎีการอัศจรรย์น้ำแบบ 1 มิติ ซึ่งมีค่าการทรุดตัวที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธีของ Terzaghi และ Tomlinson ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.17 และ 4.18 ตามลำดับ ส่วนอัตราการเกิดการทรุดตัวของฐานราก E-1 ที่อาศัยอัตราการเกิดแรงจุดลงในเสาเข็มที่เสนอแนะโดย Poulos และ Davis (1972) ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.19

4.3.5 สรุปผลและวิจารณ์ ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวของอาคารโรงงาน

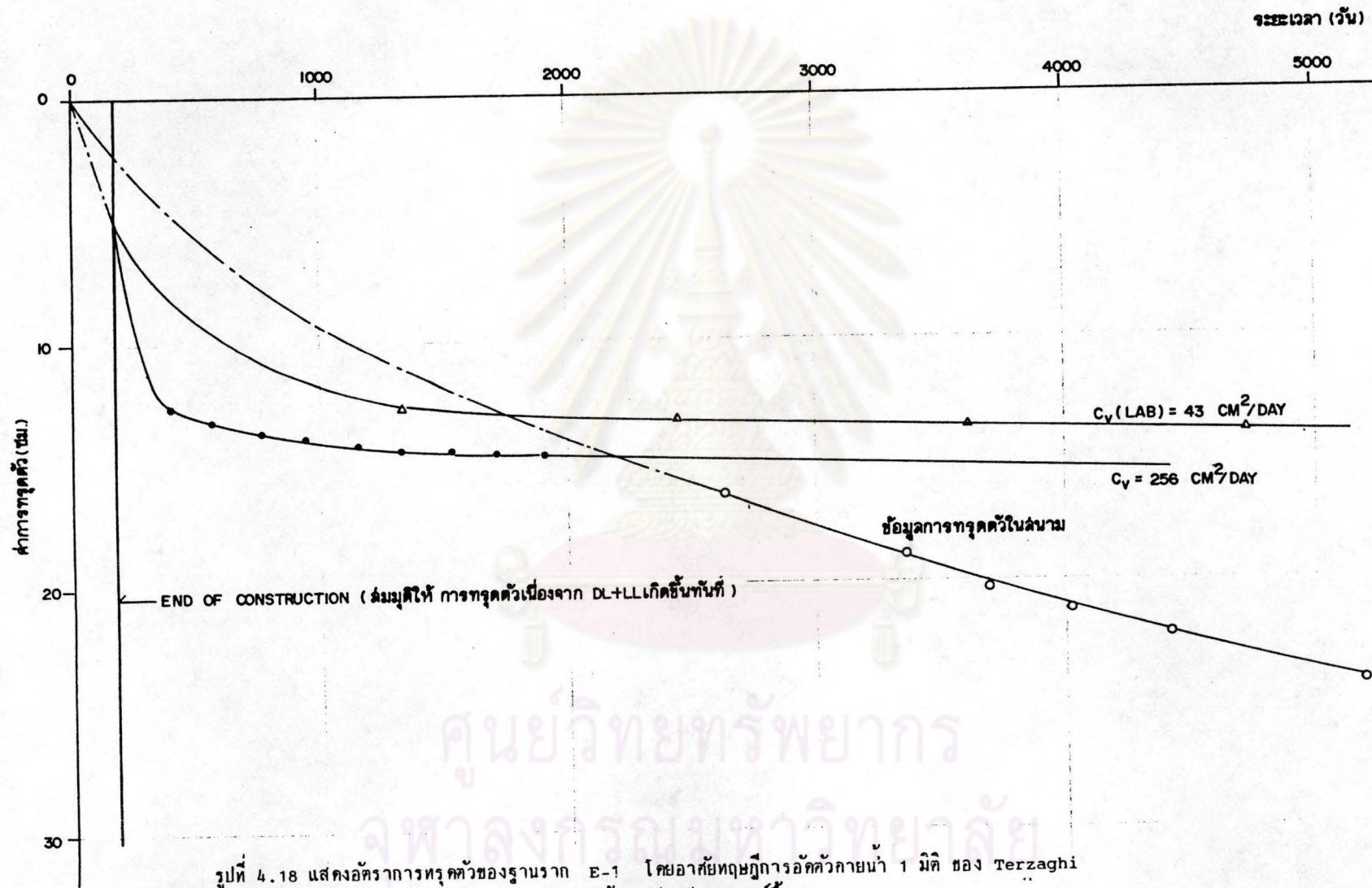
พระประแดง กรุงเทพฯ

จากผลการตรวจสอบความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด ของฐานรากแบบเสาเข็มเดี่ยวและเสาเข็มกลุ่ม พบว่าฐานรากบางฐานรากในอาคารไม่สามารถรับน้ำหนักกระทำซึ่งรวมผลของแรงจุดลงในเสาเข็มได้ ทำให้เกิดการวิบัติของมวลดิน และเกิดการทรุดตัวมากผิดปกติ ในการวิจัยนี้จึงพิจารณาการทรุดตัวของฐานรากที่ค่าว่าไม่เกิดการวิบัติ (E-1) เท่านั้น

ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวของฐานราก E-1 อาคารโรงงานผลิตยา โดยวิธีปฏิศาสตร์พื้นฐาน เมื่อรวมผลการเกิดแรงจุดลงในเสาเข็ม พบว่าโดยอาศัยทฤษฎีการอัศจรรย์ตัวของ Terzaghi ให้ค่าการทรุดตัวสุดท้าย เนื่องจากการอัศจรรย์ตัวของชั้นดินเหนียวแข็งเพียงอย่างเดียว เท่ากับ 25.517 ซม. ส่วนวิธีการที่ใช้สมมุติฐาน ของ Tomlinson มีค่าการทรุดตัวรวมเท่ากับ 14.960 ซม. ซึ่งประกอบด้วยการทรุดตัวในทันที เท่ากับ 7.926 ซม. และการทรุดตัวเนื่องจากการอัศจรรย์ตัวของชั้นดินเหนียวแข็งที่ปลายเสาเข็ม

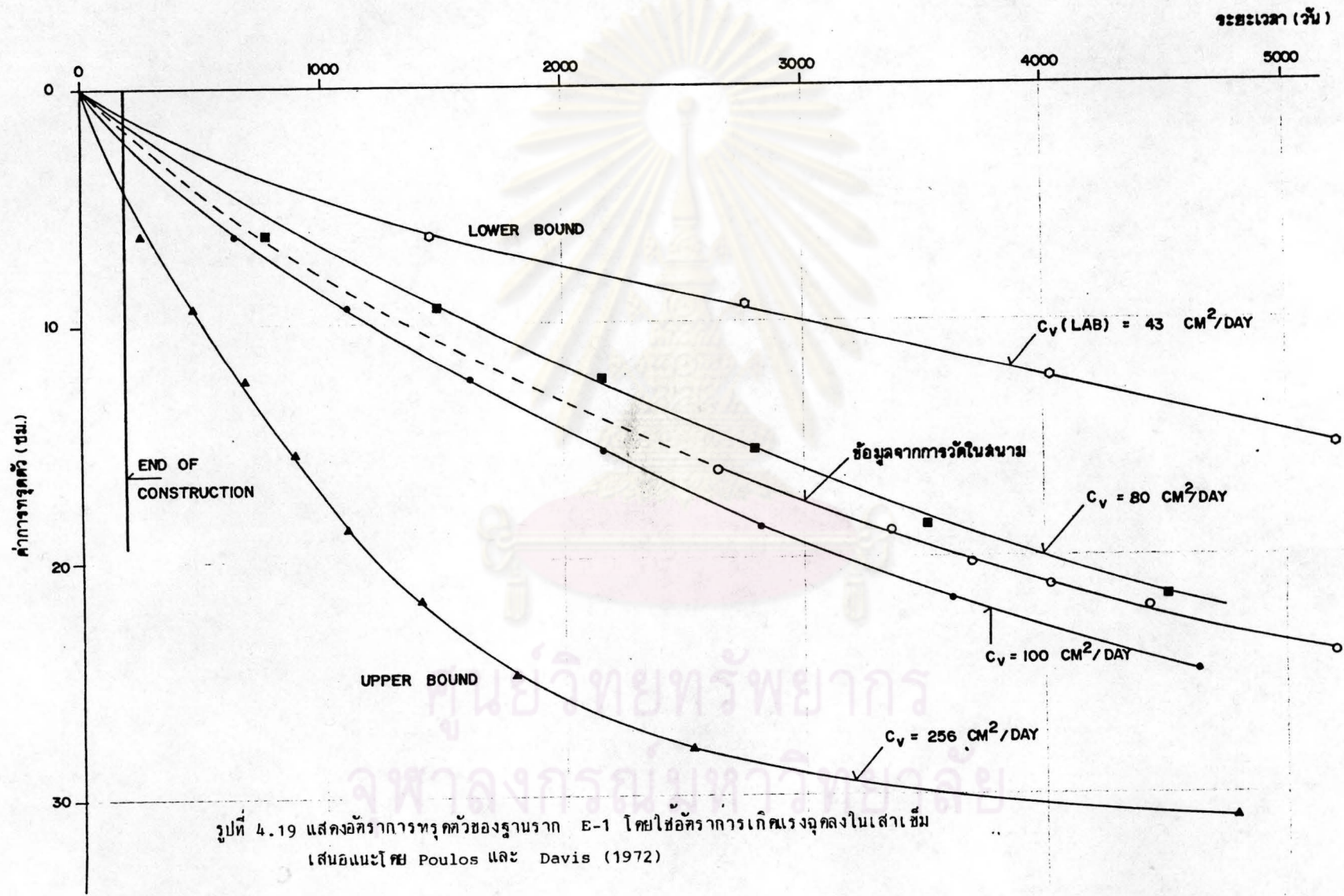


รูปที่ 4.17 แสดงอัตราการทรุดตัวของฐานราก E-1 โยอาคัยหตุยฎีกการอัครวักยน้ำ 1 มิตี ของ Terzaghi และค่าการทรุดตัวทั้งหมดเนื่องจากการอัครวักยน้ำ โยการวิเคราะห้ด้วยวิธี ปรุสทกลท้าวัสตรึนฐานของ Terzaghi



รูปที่ 4.18 แสดงอัตราการทรุดตัวของฐานราก E-1 โดยอาศัยทฤษฎีการอัดตัวภายน้ำ 1 มิติ ของ Terzaghi และ ค่าการทรุดตัวทั้งหมดสามารถหาได้จากวิธีปริศนศาสตร์พื้นฐานของ Tomlinson

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.19 แสดงอัตราการทรุดตัวของฐานราก E-1 โดยใช้สูตรการเกิดแรงฉุดลงในเสาเข็ม
 เสนอแนะโดย Poulos และ Davis (1972)

เท่ากับ 7.034 ชม. ค่าการทรุดตัวรวม (ρ_{TF}) จากการคำนวณโดยวิธีปฏิภนศาสตร์พื้นฐานของ Tomlinson จะให้ค่าน้อยกว่าข้อมูลการทรุดตัวที่วัดได้ในสนามมาก (53 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่ค่าการทรุดตัวรวม โดยวิธีปฏิภนศาสตร์พื้นฐานของ Terzaghi ให้ค่าใกล้เคียงกับข้อมูลในสนาม (จากข้อมูลที่มีอยู่ การทรุดตัวในสนามมีประมาณ 24 ชม.)

ส่วนผลการประมาณค่าการทรุดตัว โดยวิธี Modified Theory of Elasticity ของ Poulos และ Davis พบว่าการทรุดตัวส่วนใหญ่มาจาก Founding layers ซึ่งมีค่าเท่ากับ 27.768 ชม. ส่วนค่าการทรุดตัวใน Underlying layers น้อยกว่าประมาณ 8 เท่า ($\rho_{ud} = 3.219$ ชม.) และค่าการทรุดตัวของเสาเข็มเอง เนื่องจากแรงจุดลงในเสาเข็ม (ρ_{FST}) มีค่าน้อยมาก (0.26 ชม.) ค่าการทรุดตัวสุดท้ายของฐานรากจะมีค่าเท่ากับ 31.247 ชม. ซึ่งมากกว่าค่าที่วัดได้ในสนาม 22 เปอร์เซ็นต์

สรุปผลการวิเคราะห์การทรุดตัวของฐานราก E-1 อาคารโรงงาน พบว่าการประมาณค่าการทรุดตัวโดยวิธีปฏิภนศาสตร์พื้นฐานของ Terzaghi ให้ค่าการทรุดตัวที่ใกล้เคียงกับข้อมูลที่วัดได้ในสนาม อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อสมมุติฐานที่กล่าวไว้ว่า ไม่ค่อยตรงกับความเป็นจริง เช่น การถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินและการทรุดตัวของชั้นดิน เป็นต้น ผลที่ได้จากวิธีประมาณค่าการทรุดตัวนี้จึงอาจเรียกว่า Empirical ผลที่ได้จึงใช้ได้เฉพาะแห่ง เนื่องจากเกิดการชดเชยกันของความคลาดเคลื่อนขึ้น ดังนั้นวิธีการนี้จึงสามารถให้ได้ผลใกล้เคียงพอประมาณในอาคารที่มีสภาพชั้นดิน และลักษณะของฐานรากที่คล้ายคลึงกันกับของอาคารโรงงานผลิตยา ส่วนวิธีปฏิภนศาสตร์พื้นฐานของ Tomlinson ซึ่งเป็นวิธี Empirical วิธีหนึ่ง การนำวิธีนี้มาประมาณค่าการทรุดตัวสุดท้ายของฐานราก E-1 อาคารโรงงานผลิตยา พบว่าให้ค่าการทรุดตัวน้อยกว่าข้อมูลที่วัดได้ในสนามมาก และมีค่าการทรุดตัวน้อยกว่าการประมาณค่าการทรุดตัวโดยวิธีปฏิภนศาสตร์พื้นฐานของ Terzaghi ประมาณ 41 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสมมุติฐานการถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดิน ทำให้หน่วยแรงเกินที่เพิ่มขึ้นกระทำต่อชั้นดินเหนียวแข็งน้อยกว่าของ Terzaghi

สำหรับการประมาณค่าการทรุดตัวโดยวิธี Modified Theory of Elasticity ของ Poulos และ Davis ผลการวิเคราะห์พบว่าการประมาณค่าการทรุดตัวโดยวิธีนี้ ให้ค่าการทรุดตัวที่มากกว่าข้อมูลที่วัดได้ในสนาม แต่ก็อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ ถึงแม้ว่าข้อสมมุติฐานในการประมาณค่าการทรุดตัวโดยวิธีนี้ จะใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่าวิธีปฏิภนศาสตร์พื้นฐาน แต่ก็ยังไม่สามารถครอบคลุมถึงอิทธิพลจากปัจจัยที่เป็นตัวแปรบางอย่าง เช่น

ผลจากการก่อสร้างเสวเข็ม การกระจายและถ่ายน้ำหนักในโครงสร้างและฐานราก รัศมีความ
 แข็งของฐานราก และการพิจารณาพฤติกรรมเป็นเสาเข็มกลุ่ม เป็นต้น นอกจากนี้การนำทฤษฎี
 Elasticity มาใช้กับดิน จำเป็นต้องพิจารณาเลือกใช้ตัวแปรที่เหมาะสม เนื่องจากผลที่ได้จาก
 การคำนวณ อาจมีความคลาดเคลื่อนจากการเลือกใช้ตัวแปร โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติใน
 การยุบตัวของดิน ตลอดจนการประมาณและเฉลี่ยค่าที่ได้จากกราฟ การประมาณค่าการ
 ทรุคตัวโดยวิธีของ Poulos และ Davis ในการศึกษาการทรุคตัวของฐานรากอาคารโรงงาน
 นี้ ได้พยายามใช้ข้อมูลและทฤษฎีที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่ก็ยังไม่
 สามารถครอบคลุมอิทธิพลจากผลบางอย่างไว้ทั้งหมด ดังนั้นการนำวิธีนี้ไปใช้กับการวิเคราะห์
 การทรุคตัวของฐานรากอาคารอื่นที่มีลักษณะแตกต่างออกไป จำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาเพิ่ม
 เต็มต่อไป

เนื่องจากฐานรากของอาคารโรงงานนี้ ผู้ออกแบบมิได้คำนึงถึงผลของแรง
 จุลลงในเสาเข็ม และผลของการใช้ load/pile ของฐานรากแต่ละฐานรากไม่เท่ากัน ทำให้
 มวลดินบริเวณฐานรากบางฐานรากเกิดการวิตไค้ เมื่อรวมผลของแรงจุกลงในเสาเข็ม เนื่อง
 จากการเกิดแรงเสียดทานในทางลบ และการวิตไค้เกิดขึ้นไม่พร้อมกัน ข้อมูลการทรุคตัวที่ได้จาก
 การวัดในสนามของฐานราก E-1 จึงอาจมีผลของการเกิดการวิตไค้ของฐานรากใกล้เคียง
 บางฐานรากที่อาจทำให้ผลการวัดการทรุคตัวของฐานราก E-1 ในสนามไม่ได้เกิดจากน้ำหนัก
 กระทำเนื่องจากน้ำหนักของโครงสร้างและน้ำหนักบรรทุก ซึ่งรวมผลของแรงจุกลงในเสาเข็ม
 เพียงอย่างเดียว

จากการวิเคราะห์อัตราทรุคตัวของฐานราก E-1 โดยตั้งข้อสมมุติฐาน
 ว่าการทรุคตัวของชั้นดินเหนียวแข็ง จะเกิดขึ้นทันทีที่มีแรงกระทำเพิ่มขึ้น และปริมาณแรงจุกลง
 ในเสาเข็ม ขึ้นอยู่กับอัตราเกิดแรงจุกลงในเสาเข็ม จากการวิเคราะห์โดยวิธีปฐพีกลศาสตร์
 พื้นฐาน พบว่าจะให้อัตราการทรุคตัวที่เร็วกว่าข้อมูลที่ได้นในสนามมาก ถึงแม้ว่าจะใช้ค่า $C_{v(lab)} =$
 43 ซม.^2 ต่อวัน ในการวิเคราะห์หาอัตราเกิดแรงจุกลงในเสาเข็มของชั้นดินเหนียวอ่อน
 ก็ยังให้ค่าอัตราทรุคตัวของฐานรากที่เร็วกว่าข้อมูลในสนาม ส่วนอัตราทรุคตัวของฐานราก
 โดยใช้อัตราการเกิดแรงจุกลงเสาเข็มที่เสนอแนะโดย Poulos และ Davis (1972) ก็ให้
 ค่าอัตราทรุคตัวที่เร็วกว่าข้อมูลการทรุคตัวที่วัดได้ในสนาม เมื่อใช้ค่า $C_{v(lab)}$ ในการ
 วิเคราะห์อัตรา การเกิดแรงจุกลงในเสาเข็ม พบว่าให้อัตราการทรุคตัวของฐานรากที่ช้ากว่า

ข้อมูลในสนาม ดังนั้นจึงได้พยายามหาค่า c_v ที่ให้อัตราการทรุดตัวใกล้เคียงกับข้อมูลในสนาม พบว่าค่า c_v ระหว่าง 80 ซม.² ต่อวัน ถึง 100 ซม.² ต่อวัน ให้อัตราการทรุดตัวที่ใกล้เคียงข้อมูลในสนามมาก (ดูรูปที่ 4.19) แต่จากคุณสมบัติต่าง ๆ ของชั้นดินเหนียวอ่อน และการวิจัยต่าง ๆ ในอดีต พบว่าเป็นไปไม่ได้ที่ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำของดินเหนียวอ่อนในสนาม จะมีค่าต่ำกว่า 150 ซม.² ต่อวัน ถึงแม้ว่าดินจะมีสภาพเป็น Normally Consolidated Clay

สรุปผลการวิเคราะห์ห่ออัตราการทรุดตัวของฐานราก E-1 เมื่อรวมผลการเกิดแรงจลลงในเสาเข็ม จากผลการวิเคราะห์ห่ออัตราการทรุดตัวโดยวิธีปฏิสัมพันธ์พื้นฐาน เมื่อใช้ค่าการทรุดตัวที่วิเคราะห์โดยอาศัยข้อมูลฐานของ Terzaghi และ Tomlinson ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และ 4.18 ตามลำดับ ให้อัตราการทรุดตัวที่เร็วกว่าข้อมูลในสนาม และวิธีการวิเคราะห์ห่ออัตราการทรุดตัวที่เสนอแนะโดย Poulos และ Davis (1972) ก็ให้อัตราการทรุดตัวที่เร็วกว่าข้อมูลในสนาม สาเหตุที่ทำให้ห่ออัตราการทรุดตัวที่วิเคราะห์ได้ โดยอาศัยวิธีการทั้งสอง มีค่าสูงเกินไป อาจพอจะสรุปได้ดังนี้

1. เนื่องจากวิธีการวิเคราะห์ห่ออัตราการทรุดตัวของ Poulos มีรากฐานมาจากการวิเคราะห์ห่อการเกิดแรงจลลงในเสาเข็มเดี่ยว ซึ่งไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบเนื่องจากผลของเสาเข็มกลุ่ม ทำให้อัตราการทรุดตัวที่วิเคราะห์ได้ มีค่าสูงเกินไป

2. ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำ (c_v) ของชั้นดินเหนียวอ่อน ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ห่อการเกิดแรงจลลงในเสาเข็ม อาจไม่คอยจะถูกต้องเนื่องจากค่า c_v (field) ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธีของ Asaoka (1978) โดยใช้ข้อมูลการทรุดตัวของดินคันทาง และคุณสมบัติของชั้นดินบริเวณ กรมอุทกหารเรือ ป้อมพระจุล นำมาเปรียบเทียบและหาสัดส่วน $c_{v(field)}/c_{v(lab)}$ และนำมาใช้เพื่อหาค่า c_v ของชั้นดินเหนียวอ่อนในบริเวณอาคารโรงงาน ซึ่งลักษณะฐานรากเป็นเสาเข็ม แต่ค่า c_v ที่นำมาใช้มีรากฐานมาจากการวิเคราะห์ห่อค่า c_v ของชั้นดินคันทาง (ฐานรากคัน) ดังนั้นในความเป็นจริงอัตราการเกิดแรงจลลงในเสาเข็ม บริเวณอาคารโรงงาน ควรจะมีค่าต่ำกว่านี้เนื่องจากมีเสาเข็มตอกแทรกอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อน ซึ่งทำให้ชั้นดินเหนียวอ่อนมีอัตราการเกิดการอัดตัวคายน้ำเนื่องจากทรายนวมข้าง ดังนั้นค่า c_v ของชั้นดินเหนียวอ่อนซึ่งจะนำมาวิเคราะห์ ห่ออัตราการเกิดแรงจลลงในเสาเข็มควรจะมีค่าที่ต่ำกว่านี้

3. จากการวิเคราะห์ความสามารถรับน้ำหนักของฐานราก อาคารโรงงาน พบว่ามีฐานรากบางฐานรากไม่สามารถรับน้ำหนักกระทำ เนื่องจากน้ำหนักโครงสร้างและน้ำหนักบรรทุกจร ซึ่งรวมผลของแรงจลในเสาเข็ม ทำให้เกิดการ Redistribution ของน้ำหนักกระทำต่อฐานราก เนื่องจากการวิบัติของฐานรากอันอื่น ดังนั้นอัตราการทรุดตัวของฐานราก E-1 อาจมิได้เกิดจากน้ำหนักกระทำจากน้ำหนักโครงสร้าง น้ำหนักบรรทุกจรและแรงจลในเสาเข็ม ของฐานราก E-1 เพียงอย่างเดียว ซึ่งการ Redistribution จะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับตำแหน่งของฐานรากใกล้เคียงฐานราก E-1 ว่าเกิดการวิบัติหรือไม่

4. เนื่องจากการวิเคราะห์อัตราการทรุดตัวของฐานราก เมื่อรวมผลการเกิดแรงจลในเสาเข็ม มีความยุ่งยากและซับซ้อน จึงได้ตั้งสมมุติฐานในการวิเคราะห์อัตราการทรุดตัวของฐานรากเมื่อเกิดแรงจลในเสาเข็ม ว่าการทรุดตัวของฐานรากเนื่องจากแรงที่ถ่ายลงมาจากโครงสร้างจะเกิดขึ้นในทันที และเกิดการทรุดตัวก่อนที่จะเกิดการทรุดตัวอันเนื่องมาจากผลของแรงจลในเสาเข็ม ส่วนการทรุดตัวเนื่องจากการเกิดแรงจลในเสาเข็ม จะเกิดขึ้นทันทีที่แรงจลในเสาเข็มเพิ่มขึ้น ตามอัตราการเกิดแรงจลในเสาเข็ม ซึ่งมีความไม่ถูกต้องนักเนื่องจากดินเหนียวแข็ง ซึ่งอยู่ใต้ปลายเสาเข็มของฐานราก ต้องใช้เวลาในการเกิดการอัดตัวคายน้ำ เมื่อได้รับแรงภายนอกมากระทำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย